



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

***Goiabas desidratadas osmoticamente e secas:  
Avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da  
secagem e da qualidade.***

***Eliana Janet Sanjinez Argandoña***

Mestre em Engenharia de Alimentos

***Dra. Miriam Dupas Hubinger***

Orientadora

***Dra. Rosiane Lopes da Cunha***

Co-orientadora

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Campinas - SP  
2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

Sa58g Sanjinez Argandoña, Eliana Janet  
Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade / Eliana Janet Sanjinez Argandoña. – Campinas: [s.n.], 2005.

Orientador: Miriam Dupas Hubinger  
Co-orientador: Rosiane Lopes da Cunha  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Goiaba. 2. Sistema osmótico semicontínuo. 3. Secagem. 4. Textura. 5. Cor. I. Hubinger, Miriam Dupas. II. Cunha, Rosiane Lopes da. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. IV. Título.

(cars/fea)

Título em inglês: Dried and osmotically dehydrated guavas: evaluation of a semicontinuous

osmotic system, drying and quality

Palavras-chave em inglês (Keywords): Guava, Semicontinuous osmotic system, Drying, Texture, Color

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Miriam Dupas Hubinger

Alexandra Faria Baroni

Florencia Cecília Menegalli

Javier Telis Romero

Nelson Horácio Pezoa Garcia

Kil Jin Park

## **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dra. Miriam Dupas Hubinger**  
ORIENTADORA - DEA/FEA/UNICAMP

---

**Prof. Dra. Alessandra Faria Baroni**  
Membro - EEMAU/IMT

---

**Prof. Dra. Florência Cecília Menegalli**  
Membro - DEA/FEA/UNICAMP

---

**Prof. Dr. Javier Telis Romero**  
Membro - DEA/UNESP

---

**Prof. Dr. Kil Jin Park**  
Membro - FEAGRI/UNICAMP

---

**Prof. Dr. Nelson Horácio Pezoa García**  
Membro - DTA/FEA/UNICAMP

"DE TUDO, FICARAM TRÊS COISAS:  
a certeza de que estamos sempre começando...  
a certeza de que é preciso continuar...  
a certeza de que seremos interrompidos antes de terminar...

PORTANTO DEVEMOS  
fazer da interrupção um caminho novo...  
da queda um passo de dança...  
do medo, uma escada...  
do sonho, uma ponte...  
da procura... um encontro"

**Fernando Sabino**

## DEDICATÓRIA

A meu pai Olegário Sanjinez (*in memoriam*),  
exemplo de profissionalismo e dedicação ao trabalho.

A meu filho Hélio, meu amigo,  
e maior incentivador.

## AGRADECIMENTOS

À ENERGIA SUPREMA,

À Profa. Dra. Míriam Dupas Hubinger pela orientação, e correção deste trabalho. Pela compreensão, confiança e paciência.

À Profa. Dra. Rosiane Lopes da Cunha pela co-orientação, compreensão, ensinamentos e amizade.

À Profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli pelo carinho e incentivo nesta longa jornada do doutorado.

Ao Prof. Luiz Antônio Viotto pela atenção e contribuição na construção do equipamento.

Aos professores membros da banca examinadora, Doutores Alessandra F. Baroni, Florência C. Menegalli, Javier T. Romero, Kil J. Park e Nelson H. P. Garcia, pela atenção, correções, sugestões e contribuições que melhoraram a qualidade deste trabalho.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia de Alimentos, em especial à Fátima (DEA), Maria Lourdes e Alice (DTA), Francisco (DEPAN), Alessandra e Joyce (LEP-DEA), Nilson (oficina de manutenção), Geraldo, Creusa e Cláudia (BIBLIOTECA/FEA), sem eles não teria sido possível a realização deste trabalho, meu muito obrigado!

Ao CNPq e a FAEP, pelo auxílio financeiro.

Aos grandes amigos Álvaro, José Guilherme, Bernardo, Eliza, Wilton, Marito, Martha, Délia, Harold, Olga, Alda, Márcio, Eduardo, que sempre tão próximos não deixaram faltar o ânimo nas horas mais difíceis.

À Izabel C. Freitas e Ana Carla Sato, pelo carinho inestimável e pela oportunidade de aprender juntas o sentido de pesquisar.

Ao Hélio, mais que filho, meu amigo, pela paciência, pelo apoio e por aceitar minha ausência nos momentos em que faltei como mãe.

Ao Jairo, meu companheiro, pelo companheirismo e apoio incondicional.

Aos amigos do Laboratório de Processos Lyssa, Mari, Edmeia, Alline, Silvia, Honorato, Nicolas, Severina, David, Divair, Ana Braga, Katiucha, pela solidariedade e bons momentos.

Aos amigos do DEA Sueli, Junko, Lia, Eliana, Alê, Vera, Flávio, Kity, Cris, Lu Nini, Michele, Mauricio, Luciano, Daniel, Janaina, Elias.

A todos aqueles amigos, embora não mencionados, sempre estiveram presentes ao meu lado ou em pensamento.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	X
LISTA DE TABELAS.....	xii
NOMENCLATURA .....	xiii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPITULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.1. INTRODUÇÃO .....	1
1.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....	7
RESUMO .....	7
2.1. A GOIABA COMO MATÉRIA PRIMA .....	8
2.2. CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS E ATIVIDADE DE ÁGUA ( $A_w$ ) .....	10
2.3. FUNDAMENTOS DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	11
2.4. SISTEMAS DE PROCESSAMENTO EM DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA .....	15
2.5. REAPROVEITAMENTO DE SOLUÇÕES DESIDRATANTES.....	16
2.6. FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE SECAGEM EM FRUTAS.....	17
2.7. SECAGEM DE PRODUTOS OSMO-DESIDRATADOS .....	19
2.8. QUALIDADE DOS PRODUTOS DESIDRATADOS POR OSMOSE E SECAGEM.....	21
2.9. PARÂMETROS DE QUALIDADE.....	21
2.9.1. TEXTURA.....	21
2.9.2. COR.....	24
2.9.3. ANÁLISE SENSORIAL.....	26
2.9.4. CONTEÚDO MICROBIANO.....	27
2.9.5. QUALIDADE NUTRICIONAL .....	28
2.9.5.1. <i>Carotenóides</i> .....	28
2.9.5.2. <i>Vitamina C</i> .....	30
2.10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPITULO III - CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA OSMÓTICO SEMICONTÍNUO: AVALIAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE MASSA E DA QUALIDADE EM RELAÇÃO AO SISTEMA DE BATELADA.....	38
RESUMO .....	38
3.1. INTRODUÇÃO .....	39
3.2. MATERIAL E MÉTODOS .....	41
3.2.1. MATERIAL.....	41
3.2.1.1. <i>Construção do Equipamento</i> .....	41
3.2.1.2. <i>Montagem do sistema semicontínuo</i> .....	45
3.2.1.3. <i>Matéria-prima</i> .....	46
3.2.1.4. <i>Agente desidratante</i> .....	47
3.2.2. PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	47
3.2.2.1. <i>Desidratação Osmótica – Sistema batelada (SB)</i> .....	47

3.2.2.2. <i>Desidratação Osmótica – Sistema semicontínuo</i> .....	48
3.2.2.3. <i>Determinações físicas e químicas</i> .....	50
3.2.2.4. <i>Cálculo dos coeficientes de transferência de massa</i> .....	51
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>52</b>
3.3.1. ESCOLHA DA MATÉRIA-PRIMA .....	52
3.3.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM TEMPO FIXO .....	54
3.3.3. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM DIFERENTES TEMPOS .....	56
3.3.4. AVALIAÇÃO DA COR NA SOLUÇÃO DESIDRATANTE .....	62
3.3.5. AVALIAÇÃO DE COR NAS GOIABAS .....	64
<b>3.4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>67</b>
<b>3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>67</b>
<b>CAPITULO IV - REAPROVEITAMENTO DA SOLUÇÃO DESIDRATANTE NO SISTEMA OSMÓTICO SEMICONTÍNUO</b> .....	<b>70</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>70</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>71</b>
<b>4.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>74</b>
4.2.1. MATERIAL .....	74
4.2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA .....	74
4.2.3. DETERMINAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS .....	75
4.2.4. AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA .....	75
4.2.5. AVALIAÇÃO SENSORIAL .....	75
4.2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS .....	76
<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>76</b>
4.3.1. PROPRIEDADES DA SOLUÇÃO OSMÓTICA .....	77
4.3.1.1. <i>Sólidos solúveis</i> .....	77
4.3.1.2. <i>Cor</i> .....	78
4.3.1.3. <i>pH e Acidez</i> .....	79
4.3.1.4. <i>Atividade de água</i> .....	80
4.3.1.5. <i>Análise microbiológica</i> .....	81
4.3.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DA FRUTA DESIDRATADA .....	83
4.3.2.1. <i>Perda de água e ganho de solutos na goiaba</i> .....	83
4.3.2.2. <i>COR</i> .....	85
4.3.2.3. <i>Características físicas e químicas das goiabas osmodesidratadas</i> .....	88
4.3.2.4. <i>Análise sensorial</i> .....	89
<b>4.4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>92</b>
<b>4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>92</b>
<b>CAPITULO V - SECAGEM DE GOIABAS PRÉ-DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE EM SISTEMA SEMICONTÍNUO: PROPRIEDADES DE TEXTURA, COR E AVALIAÇÃO SENSORIAL</b> .....	<b>95</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>95</b>
<b>5.1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>96</b>
<b>5.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>101</b>
5.2.1. MATÉRIA-PRIMA.....	101
5.2.2. PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO .....	102
5.2.3. SECAGEM .....	102
5.2.4. TRATAMENTO MATEMÁTICO DA CINÉTICA DE SECAGEM .....	104
5.2.5. DETERMINAÇÃO DE UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA .....	105

5.2.6. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	106
5.2.7. AVALIAÇÃO INSTRUMENTAL DA COR .....	106
5.2.8. AVALIAÇÃO SENSORIAL .....	107
5.2.9. TRATAMENTO DOS RESULTADOS .....	107
<b>5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>108</b>
5.3.1. - CINÉTICA DE SECAGEM.....	108
5.3.2. MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM .....	112
5.3.3. AVALIAÇÃO DA COR NAS GOIABAS OSMODESIDRATADAS E SECAS .....	115
5.3.4. AVALIAÇÃO DA TEXTURA NAS GOIABAS OSMODESIDRATADAS E SECAS .....	117
5.3.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA GOIABA OSMODESIDRATADA E SECA .....	120
5.3.6. AVALIAÇÃO SENSORIAL DO PRODUTO OSMODESIDRATADO E SECO .....	121
<b>5.4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>124</b>
<b>5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>125</b>
<b>CAPITULO VI - AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO DE CAROTENÓIDES TOTAIS E DO ÁCIDO ASCÓRBICO EM GOIABAS OSMOTICAMENTE DESIDRATADAS E SECAS.....</b>	<b>130</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>130</b>
<b>6.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>131</b>
<b>6.2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>135</b>
6.2.1. MATERIAL .....	135
6.2.2. SECAGEM .....	135
6.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS GOIABAS FRESCAS, OSMODESIDRATADAS E OSMODESIDRATADAS E SECAS .....	135
6.2.4. DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO TOTAL DE CAROTENÓIDES .....	136
6.2.5. DETERMINAÇÃO DO ÁCIDO ASCÓRBICO .....	137
6.2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	138
<b>6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>139</b>
6.3.1. EFEITO DO REUSO DA SOLUÇÃO DE DESIDRATAÇÃO SOBRE O PRODUTO OBTIDO DEPOIS DA SECAGEM .....	139
6.3.2. EFEITO DO TEMPO DE SECAGEM SOBRE O CONTEÚDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO EM GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SECAS .....	140
6.3.4. EFEITO DO TEMPO DE SECAGEM SOBRE A RETENÇÃO DOS CAROTENÓIDES TOTAIS EM GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SECAS .....	142
<b>6.4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>144</b>
<b>6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>145</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>149</b>
<b>SUGESTÕES .....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>154</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1.</b> GOIABA VERMELHA VAR. <i>PALUMA</i> .....	8
<b>FIGURA 2.2.</b> TRANSFERÊNCIA DE MASSA DURANTE O PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA. A) DESIDRATAÇÃO DA CÉLULA E B) DIFUSÃO DA ÁGUA NO TECIDO CELULAR.....	12
<b>FIGURA 3.1.</b> ESQUEMA DO EQUIPAMENTO SEMICONTÍNUO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA, FABRICADO EM ACRÍLICO.....	43
<b>FIGURA 3.2.</b> DIMENSÕES DO TANQUE PARA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA NO SISTEMA SEMICONTÍNUO FABRICADO EM ACRÍLICO (QUATRO PARTES IGUAIS).....	44
<b>FIGURA 3.3.</b> EQUIPAMENTO SEMICONTÍNUO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA FABRICADO EM AÇO INOXIDÁVEL.....	45
<b>FIGURA 3.4.</b> ESQUEMA DA MONTAGEM DO SISTEMA SEMICONTÍNUO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	46
<b>FIGURA 3.4.</b> CINÉTICAS DE PERDA DE ÁGUA E GANHO DE SOLUTOS NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS NO SISTEMA SEMICONTÍNUO COM VAZÕES DE FLUXO DE 77KG/H (▲), 540 KG/H (■) E NO SISTEMA BANCADA (●).....	57
<b>FIGURA 3.5.</b> CINÉTICAS DE PERDA DE PESO NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS NO SISTEMA SEMICONTÍNUO COM VAZÕES DE FLUXO DE 77KG/H (▲) E 540 KG/H (■) E NO SISTEMA BANCADA (●).....	58
<b>FIGURA 3.6.</b> CINÉTICA DA VARIAÇÃO DO °BRIX AO LONGO DO TEMPO. SISTEMA DE BATELADA-BS (●), SISTEMAS SSC-540 (■) E SSC-77 (▲).....	65
<b>FIGURA 3.7.</b> GRAU DE ABSORBÂNCIA DA SOLUÇÃO DE SACAROSE AO LONGO DO TEMPO. VAZÃO MÁSSICA DE 540 KG/H (■) E 77 KG/H (▲).....	63
<b>FIGURA 4.1.</b> ACIDEZ TITULÁVEL DA SOLUÇÃO DE SACAROSE APÓS CADA REAPROVEITAMENTOS DA SOLUÇÃO NAS TRÊS CONDIÇÕES DE FRUTA:SOLUÇÃO: 1:10 (●), 1:5 (■) E 1:3 (▲).....	80
<b>FIGURA 4.2.</b> PERDA DE ÁGUA NOS VINTE PROCESSAMENTOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS COM REAPROVEITAMENTO DA SOLUÇÃO DE SACAROSE A DIFERENTES PROPORÇÕES DE FRUTA:SOLUÇÃO: 1:10 (●), 1:5 (■) E 1:3 (▲).....	84
<b>FIGURA 4.3.</b> GANHO DE SÓLIDOS NOS VINTE PROCESSAMENTOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS COM REAPROVEITAMENTO DA SOLUÇÃO DE SACAROSE A DIFERENTES PROPORÇÕES DE FRUTA:SOLUÇÃO: 1:10 (●), 1:5 (■) E 1:3 (▲).....	85
<b>FIGURA 4.4.</b> DIFERENÇA DE CROMA ( $\Delta C^*$ ) DAS AMOSTRAS PROCESSADAS APÓS CADA RECICLO EM RELAÇÃO À FRUTA FRESCA NAS CONDIÇÕES DE FRUTA:SOLUÇÃO: 1:10 (●), 1:5 (■) E 1:3 (▲) - PARTE INTERNA.....	86
<b>FIGURA 4.5.</b> VARIAÇÃO DO ÂNGULO DE TOM ( $H^*$ ) DAS AMOSTRAS PROCESSADAS EM CADA RECICLO DOS 20 TRATAMENTOS NAS CONDIÇÕES DE FRUTA:SOLUÇÃO: 1:10 (●), 1:5 (■) E 1:3 (▲) - PARTE INTERNA.....	87
<b>FIGURA 5.1.</b> ESQUEMA DO SECADOR DE BANDEJAS COM FLUXO DE AR QUENTE.....	104
<b>FIGURA 5.2.</b> CINÉTICAS DE SECAGEM DE PALITOS DE GOIABA SEM PRÉ-TRATAMENTO (○) E COM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO (●).....	109
<b>FIGURA 5.3.</b> TAXAS DE SECAGEM DE GOIABAS COM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO (●) E SEM PRÉ-TRATAMENTO (◆).....	111
<b>FIGURA 5.4.</b> CURVA DE SECAGEM A 60°C DE PALITOS DE GOIABA SEM PRÉ-TRATAMENTO (A) E COM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO (B): DADOS EXPERIMENTAIS (●) E VALORES ESTIMADOS PELO MODELO DE PAGE (---). .....	112
<b>FIGURA 5.5.</b> CURVA DE SECAGEM A 60°C DE PALITOS DE GOIABA SEM PRÉ-TRATAMENTO (A) E COM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO (B): DADOS EXPERIMENTAIS (●) E VALORES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO DE FICK (---). .....	113
<b>FIGURA 5.6.</b> DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PARÂMETROS DE COR $A^*$ E $B^*$ DAS AMOSTRAS DE GOIABA FRESCA (▲), PRÉ-DESIDRATADA - DO (■) E PRÉ-DESIDRATADAS E SECAS (●) POR 1, 2, 3, 4 E 6 HORAS A 60°C.....	116

<b>FIGURA 5.7.</b> VALORES MÉDIOS DE TENSÃO NA RUPTURA EM AMOSTRAS DE GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SECAS POR 1, 2, 3, 4 E 6 HORAS A 60°C (●).....	117
<b>FIGURA 5.8.</b> VALORES MÉDIOS DE DEFORMAÇÃO MÁXIMA DE AMOSTRAS DE GOIABA FRESCA (LINHA CONTÍNUA) E GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SECAS POR 1, 2, 3, 4 E 6 HORAS A 60°C (■).....	119
<b>FIGURA 5.10.</b> TESTE SENSORIAL DE COMPARAÇÃO/ ORDENAÇÃO PARA O ATRIBUTO <i>COR</i> . ORDENAÇÃO: 1- MAIS INTENSA; 3- MENOS INTENSA.....	122
<b>FIGURA 5.10.</b> TESTE SENSORIAL DE COMPARAÇÃO/ ORDENAÇÃO PARA O ATRIBUTO <i>COR</i> . ORDENAÇÃO: 1- MAIS INTENSA; 3- MENOS INTENSA.....	122
<b>FIGURA 5.11.</b> TESTE SENSORIAL DE COMPARAÇÃO/ORDENAÇÃO PARA O ATRIBUTO <i>DOÇURA</i> . ORDENAÇÃO: 1- MAIS DOCE; 3- MENOS DOCE.....	123
<b>FIGURA 5.12.</b> TESTE SENSORIAL DE COMPARAÇÃO/ORDENAÇÃO PARA O ATRIBUTO <i>TEXTURA</i> . ORDENAÇÃO: 1- MAIS DURA; 3- MENOS DURA.....	123
<b>FIGURA 6.1.</b> EVOLUÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM A 60°C EM PALITOS DE GOIABA OSMOTICAMENTE PRÉ-DESIDRATADOS E SECOS (●). AJUSTE DA CINÉTICA DE 1° ORDEM (LINHA CONTÍNUA).....	141
<b>FIGURA 6.2.</b> COMPORTAMENTO DA RETENÇÃO TOTAL DO CONTEÚDO DE CAROTENÓIDES TOTAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM EM PALITOS DE GOIABA DESIDRATADOS A 60°C COM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO (□) E SEM PRÉVIO TRATAMENTO (■). A LINHA CORRESPONDE AO CONTEÚDO DE CAROTENÓIDES TOTAIS EM GOIABA OSMOTICAMENTE PRÉ-TRATADA SEM SECAGEM.....	143

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1.</b> VARIEDADES DA GOIABA BRASILEIRA.....	10
<b>TABELA 3.1.</b> CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO SISTEMA SEMICONTÍNUO COM VAZÃO MÁSSICA DE 77 KG/H (SSC-77), 540 KG/H (SSC-540) E 773 KG/H (SSC-773) NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS.....	49
<b>TABELA 3.2.</b> ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DA GOIABA VERMELHA – CULTIVARES: PALUMA, CASCUDA E SATO.....	54
<b>TABELA 3.4</b> COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA (ANOVA) DA PERDA DE PESO, PERDA DE ÁGUA E GANHO DE SÓLIDOS ENTRE OS DIFERENTES TEMPOS DE PROCESSO.....	59
<b>TABELA 3.5.</b> VALORES OBTIDOS DOS MODELOS DE AZUARA E DO COEFICIENTE DE DIFUSIVIDADE APARENTE PARA DIFERENTES TRATAMENTOS.....	61
<b>TABELA 3.6.</b> COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE PROCESSAMENTO PARA CADA TRATAMENTO -PARÂMETRO L*.....	65
<b>TABELA 3.7.</b> COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE PROCESSAMENTO PARA CADA TRATAMENTO -PARÂMETRO A*.....	65
<b>TABELA 3.8.</b> COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE PROCESSAMENTO PARA CADA TRATAMENTO PARÂMETRO B*.....	66
<b>TABELA 3.9.</b> COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR ENTRE OS TRATAMENTOS NO SISTEMA SEMICONTÍNUO (SSC A 77KG/H E SSC A 540KG/H) COM O TRATAMENTO NO SISTEMA DE BATELADA (SB) APÓS 180 MIN.....	67
<b>TABELA 4.1.</b> VALORES MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIO DA VARIAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (SS), ATIVIDADE DE ÁGUA (AW) E ABSORBÂNCIA DAS SOLUÇÕES DE SACAROSE REUSADAS 20 VEZES NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS NAS CONDIÇÕES DE RELAÇÃO FRUTA:SOLUÇÃO DE 1:10, 1:5 E 1:3.....	81
<b>TABELA 4.2.</b> CONTAGEM DE BOLORES E LEVEDURAS NA SOLUÇÃO DE SACAROSE EM DIFERENTES CICLOS DE REAPROVEITAMENTO PARA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS.....	81
<b>TABELA 4.3.</b> CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE GOIABAS FRESCAS E TRATADAS OSMOTICAMENTE OBTIDAS COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 60 ± 2,3OBRIX, 40OC POR 2 HORAS E REUSADA NO PROCESSO DE 20 BATELADAS.....	89
<b>TABELA 4.4.</b> MÉDIAS DE INTENSIDADE DOS ATRIBUTOS COR, AROMA, SABOR E TEXTURA DAS GOIABAS OSMO-DESIDRATADAS OBTIDAS DOS DIFERENTES RECICLOS DE SOLUÇÃO DE SACAROSE (10, 50, 100 E 150 RECICLO) E DO PADRÃO DE REFERÊNCIA (GOIABA FRESCA).....	91
<b>TABELA 5.1.</b> VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS GOIABAS DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE EM SOLUÇÃO DE SACAROSE (RELAÇÃO FRUTA:SOLUÇÃO 1:5) REAPROVEITADA POR 20 VEZES.....	102
<b>TABELA 5.2.</b> VALORES DE K, N, DEF, R2 E ERRO RELATIVO MÉDIO (E) PARA OS MODELOS EXPONENCIAL, PAGE E DIFUSIONAL DE AMOSTRAS SECAS COM E SEM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO.....	114
<b>TABELA 5.3.</b> VALORES MÉDIOS DE ATIVIDADE DE ÁGUA (AW), UMIDADE, AÇÚCARES TOTAIS E ACIDEZ TITULÁVEL DE AMOSTRAS RESULTANTES DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM POR 3 HORAS E 4 HORAS (DADOS OBTIDOS A PARTIR DAS ANÁLISES DOS RECICLOS).....	121
<b>TABELA 6.1.</b> VALORES DAS MÉDIAS DE UMIDADE, ATIVIDADE DE ÁGUA (AW), AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS (ART) E ACIDEZ TITULÁVEL (AT) DE FATIAS DE GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SECAS (GPOS) POR QUATRO HORAS E DE GOIABAS SECAS SEM PRÉ-TRATAMENTO.....	139
<b>TABELA 6.2.</b> PARÂMETROS DE AJUSTE DO MODELO CINÉTICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA O CONTEÚDO RESIDUAL DE ÁCIDO ASCÓRBICO DURANTE A SECAGEM A 60°C DE GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE EM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 60°BRIX.....	141

## NOMENCLATURA

A	Área (m <sup>2</sup> ).
ART	Açúcares redutores totais (%).
AT	Acidez titulável (g <sub>ac. cítrico</sub> /100g <sub>amostra</sub> )
A <sub>w</sub>	Atividade de água (Adimensional).
C	Índice de Croma (Adimensional).
D	Diâmetro do tanque, (m).
D <sub>ef</sub>	Difusividade efetiva, (m <sup>2</sup> /s).
E	Erro relativo, (%).
F	Força, (N).
GS	Ganho de solutos, (%).
H	Altura da amostra, (m).
h*	Ângulo de tom, (Adimensional).
L	Espessura da amostra, (m).
M	Teor de umidade, (kg <sub>água</sub> /kg <sub>ms</sub> ).
M <sub>pred</sub>	Valores preditos
M <sub>exp</sub>	Valores experimentais
N	Número de pontos experimentais
PA	Perda de Água, (%)
PP	Perda de peso, (%)
Re	Número de Reynolds, (Adimensional).
R <sup>2</sup>	Coeficiente de correlação
S <sub>1</sub>	Parâmetro de ajuste da equação de Azuara, (Adimensional).
X <sub>bu</sub>	Conteúdo de umidade em base úmida, (kg).
X <sub>bs</sub>	Conteúdo de umidade em base seca, (kg).
a*	Índice de cor verde-vermelho, (Adimensional).
b*	Índice de cor azul-amarelo, (Adimensional).
n	Número de termos da série
t	Tempo, (s).
m <sub>i</sub>	Massa do produto inicial, (kg).
m <sub>t</sub>	Massa do produto em um tempo t, (kg).
ε	Deformação na ruptura (%)
v	Velocidade média do fluido, (m/min).
ρ	Densidade da solução de sacarose a 60°Brix, (kg/m <sup>3</sup> ).
μ	Viscosidade da solução de sacarose a 60°Brix, (kg/m.s).
σ	Tensão na ruptura, (kPa).
Δ	Diferença entre duas amostras
<b>Subíndice</b>	
bu	Base úmida
bs	Base seca
e	equilíbrio
i	Inicial
∞	equilíbrio

## RESUMO

O objetivo desta tese foi construir um desidratador osmótico semicontínuo, comparar sua eficácia com o sistema batelada, avaliar a influência da reutilização da solução desidratante na desidratação osmótica de goiabas e obter um produto de umidade intermediária através da secagem, avaliando suas características físicas, químicas e sensoriais. O sistema semicontínuo consistiu de dois equipamentos verticais acoplados a um tanque pulmão e acessórios que facilitaram a recirculação da solução desidratante pelo sistema. Para validar o sistema, cinéticas de desidratação osmótica foram realizadas utilizando goiabas da variedade vermelha “*Paluma*” em metades. As vazões aplicadas ao sistema variaram de 77 a 773 kg/h. A distribuição das frutas no equipamento foi feita em bandejas sobrepostas. As condições iniciais de processo para ambos sistemas foram: solução de sacarose 60% a 40°C e relação fruta:solução 1:10. Ensaio em diferentes tempos (30 a 420 minutos) validaram o sistema. Nas vazões mássicas de 540 e 773 kg/h, a perda de água e ganho de solutos na fruta foi similar ao de batelada, sendo estabelecida para o sistema semicontínuo a vazão desidratante de 540 kg/h e o tempo de desidratação de 2 h. Nessas condições, foi estudado o reaproveitamento da solução por 20 vezes nas proporções de fruta:solução 1:10, 1:5 e 1:3, avaliando-se em cada condição, as mudanças físicas, químicas e microbiológicas na solução e alterações físicas, químicas e sensoriais na fruta. As alterações observadas não comprometeram a transferência de massa do processo osmótico, nem a qualidade do produto pré-desidratado. Com base nesses resultados escolheu-se a condição de relação fruta:solução 1:5. Para a obtenção de goiabas a umidade intermediária (0,62 a 0,75 de  $a_w$ ) a fruta previamente cortada em palitos, foi submetida à secagem em ar quente. O pré-tratamento osmótico influenciou no tempo de secagem (3 h), e o efeito benéfico e protetor do pré-tratamento osmótico foi evidenciado na retenção de vitamina C, carotenóides totais, cor e propriedades mecânicas do produto osmodesidratado e seco demonstrado pela preferência de prováveis consumidores do produto.

**Palavras-chave:** Goiaba, desidratação osmótica, reutilização do xarope, secagem, textura e cor.

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to build a semi continuous osmotic dehydrator, compare its efficacy with the batch system, evaluate the influence of the solution reuse in the osmotic dehydration of guavas and obtain a product with intermediate moisture through drying, evaluating its physical, chemical and sensorial characteristics. The semi continuous system consists of two vertical equipments connected to a vessel and accessories that facilitates the dehydrating solution recirculation through the system. In order to validate the system, osmotic dehydration kinetics were performed, using halves of guavas from the red "Paluma" variety. Flows applied to the system were 77 to 773 kg/h. Fruit were distributed inside the equipment on a tray tower. Results were compared with those of the kinetics obtained by the batch system. Process initial conditions for both systems were: 60% sucrose solution at 40°C and 1:10 fruit:solution proportion. Tests at different times (30 to 420 minutes) validated the system. With the mass flows of 540 and 773 kg/h, fruit water loss and solids gain was similar to those of the batch system, establishing the flow of 540kg/h for the semi continuous system and dehydration time of 2h. In these conditions, the solution reuse was studied for 20 times with the fruit:solution proportions: 1:10, 1:5 and 1:3, evaluating, in each condition, the solution physical, chemical and microbiological changes and the fruit sensorial changes. The observed alterations did not compromise mass transfer of the osmotic process, neither the quality of pre-dehydrated product. Based on these results, the relation fruit:solution of 1:5 was chosen. To obtain intermediate moisture guavas ( $a_w$  from 0,62 to 0,75), the fruit was cut in stripes and dried in hot air. Osmotic pre treatment influence the drying time (3h), and the benefic and protective effect of the osmotic treatment was evidenced by C vitamin and carotenoids retention, color and mechanical properties maintenance of the osmodehydrated and dried product, demonstrated by the preference of product consumers.

**Key-words:** Guava, osmotic dehydration, syrup reuse, drying, texture and color.

## CAPITULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

### 1.1. INTRODUÇÃO

Em climas tropicais e temperados grande parte da produção de frutas e hortaliças é perdida nos centros de produção, por não se dispor de técnicas eficientes de processamento que assegurem um tempo maior de conservação. As frutas não processadas são bastante perecíveis, como por exemplo, a goiaba, cujo intenso metabolismo durante o amadurecimento acarreta perdas de qualidade, que junto a manejos inadequados na colheita e na pós-colheita aceleram os processos de senescência, afetando sensivelmente a qualidade da fruta e limitando ainda mais o período de comercialização. Nos países menos desenvolvidos as perdas pós-colheita de frutas ultrapassam 20% da produção (AGUILERA & PARADA, 1992). No caso do Brasil estima-se que este valor chegue até a 40% em algumas regiões do Nordeste (LACERDA *et al.*, 2004), o que leva a uma procura constante de métodos alternativos para minimizar essas perdas.

Por outro lado, houve uma grande mudança nos padrões de consumo e a preferência por alimentos levemente processados têm aumentado sua popularidade com relação aos alimentos que passam por transformações drásticas como os enlatados. Essa preferência fundamenta-se nos efeitos benéficos dos frutos e outros vegetais à saúde do homem, como por exemplo, a

goiaba fonte importante de vitamina C e carotenóides, em especial, o licopeno. Assim, pesquisas têm sido direcionadas na busca de métodos, que comparados aos processos convencionais de estabilização de alimentos, proporcionem produtos com poucas alterações em suas características sensoriais e nutritivas, procurando gerar processos tecnológicos de baixo custo, baseados na combinação de fatores antimicrobianos como, por exemplo: alimentos de umidade intermediária que ofereçam produtos os mais similares possíveis aos alimentos frescos (ALZAMORA *et al.*, 1997).

A utilização do processo de desidratação osmótica como pré-tratamento ao processo de secagem em ar quente, pode proporcionar produtos de umidade intermediária com boa estabilidade a temperatura ambiente, e tem sido sugerida por diversos pesquisadores como uma forma de diminuir o tempo de residência do produto no secador, colaborando assim com a redução da demanda energética do processo e o valor nutricional (AGUILERA & PARADA, 1992; LENART, 1996). Na secagem de alimentos, a relação entre as condições de processamento e a qualidade do produto é mais complicada quando comparada com a desidratação osmótica. Entretanto, a interação dos dois tratamentos pode minimizar as taxas de degradação dos atributos de qualidade do produto. Porém, o comportamento das alterações sofridas pelos produtos alimentícios pode ainda variar em função do tipo de alimento, bem como das condições operacionais de cada processo. Em comparação à secagem convencional, o alimento osmodesidratado e seco resulta em um produto com menor encolhimento, com melhor cor e mais macio, sendo, portanto, mais aceitável tanto para consumo direto quanto para a incorporação em sorvetes, iogurtes, queijos, entre outros produtos (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

Resultados obtidos durante o mestrado de SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999), mostraram que a desidratação osmótica de goiabas como pré-tratamento à secagem resultou em produto final com melhor estabilidade de cor e textura, do que o produto seco convencionalmente. Entretanto, a falta de informação sobre equipamentos, a necessidade do uso de elevadas quantidades de solução desidratante, o seu descarte ou aproveitamento, bem como do controle das

condições de processamento ainda são escassos. Desta forma, o estudo da desidratação osmótica em sistemas que favoreçam a ampliação futura em escala industrial é ainda necessário para validar o seu uso como processo comercial.

Por outro lado, a reutilização da solução desidratante pode favorecer a aplicação do processo, tanto do ponto de vista econômico, como por questões de meio ambiente. A eficiência do número de reutilizações depende de relações fruta/solução mais estreitas (1:5, 1:3) ou da reconcentração da solução, o que possibilitaria a economia do processo e, simultaneamente, minimizaria o descarte excessivo de solução residual. Outro aspecto não menos importante a ser considerado na reutilização da solução é sua influência nos atributos de qualidade tais como aparência, sabor, cor e textura, os quais poderão ser afetados pelo contínuo reuso da solução, influenciando na qualidade do produto final.

Assim, os produtos dos processamentos aos quais os frutos são submetidos devem ser avaliados sensorialmente para se obter produtos padronizados com qualidade.

Pelo exposto, os objetivos principais desta tese foram:

Estudar a cinética de desidratação osmótica de goiabas em um sistema semicontínuo, construído para este fim, e avaliar os resultados da transferência de massa comparando-os com os do trabalho anteriormente realizado por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999);

Estudar o efeito das sucessivas reutilizações da solução desidratante na desidratação osmótica de goiabas, estabelecer o número adequado de reutilizações e selecionar as melhores condições de relação fruta:solução, que forneçam produtos com qualidade próxima à fruta fresca;

Determinar o tempo de secagem necessário para obter um produto final de umidade intermediária, através de cinéticas de secagem, além do estudo das propriedades mecânicas, de cor e sensoriais do produto final;

E, finalmente, avaliar a degradação de carotenóides totais e de vitamina C nas goiabas pré-desidratadas osmoticamente e submetidas à secagem a diferentes tempos.

A organização deste trabalho deu-se em capítulos da seguinte forma:

**Capítulo I - Introdução:** Aborda de forma geral o tema em estudo, justifica o trabalho e apresenta os objetivos principais do mesmo.

**Capítulo II - Revisão Bibliográfica Geral:** É apresentado o embasamento teórico fundamental para o desenvolvimento do trabalho experimental. Os assuntos abordados referem-se à fruta, sistema biológico escolhido para o estudo; à desidratação osmótica e suas tendências atuais de aplicação; à secagem convectiva combinada a pré-tratamentos e a importância dos atributos de qualidade que influenciam na escolha sensorial dos produtos processados.

**Capítulo III - Construção de um sistema osmótico semicontínuo, avaliação da transferência de massa e qualidade em relação ao sistema de bancada:** Um sistema semicontínuo para a desidratação osmótica de goiabas foi construído. O efeito da fluidodinâmica do sistema na desidratação osmótica foi avaliado, comparando-o ao sistema batelada, através da perda de água, ganho de solutos e nas características físicas e químicas da fruta osmodesidratada.

**Capítulo IV - Reaproveitamento da solução desidratante no sistema osmótico semicontínuo:** Neste capítulo foi estudado o número de vezes que a solução desidratante pode ser reaproveitada na desidratação osmótica de goiabas, sem prejuízo à qualidade do produto. As mudanças no teor de sólidos solúveis, atividade de água, pH, acidez e turbidez, na solução foram monitoradas e avaliadas nas sucessivas reutilizações. A avaliação microbiológica da solução e as propriedades da fruta osmodesidratada obtida da desidratação, com o reuso da solução, foram também estudadas. Os resultados foram relacionados à percepção humana através de testes sensoriais, para estabelecer o número de vezes que a solução poderia ser aproveitada, de maneira que o produto obtido tivesse qualidade aceitável.

**Capítulo V - Secagem de goiabas pré-desidratadas osmoticamente em sistema osmótico semicontínuo e sua Influência na qualidade do produto final:** Cinéticas de secagem das goiabas osmodesidratadas, e sua modelagem matemática foram realizadas para avaliar a influência do pré-tratamento osmótico e determinar o tempo de secagem necessário, para obter produtos de umidade intermediária. Os efeitos do pré-tratamento osmótico combinado à secagem nas goiabas foram avaliados através das propriedades mecânicas e de cor, por análise instrumental e testes sensoriais de ordenação e preferência.

**Capítulo VI - Avaliação do conteúdo de carotenóides totais e do ácido ascórbico em goiabas osmoticamente desidratadas e secas:** É apresentada a avaliação da qualidade nutricional do produto, em função do conteúdo de carotenóides totais e vitamina C. A degradação do ácido ascórbico com o tempo de secagem em goiabas com e sem prévio tratamento osmótico é estudada, bem como a quantificação desses nutrientes em goiabas osmodesidratadas e secas com atividade de água de 0,6 a 0,7.

**Conclusões Gerais:** São apresentadas as conclusões gerais da tese em concordância com os objetivos propostos.

**Sugestões:** As sugestões para trabalhos futuros visando a complementação deste estudo são apresentadas.

## 1.2. Referências bibliográficas

AGUILERA, J.M. & PARADA E. Cytel - DAHI: An Ibero-American project on moisture foods and combined methods technology. **Food Research International**, v.25, p. 159-165, 1992.

ALZAMORA, S.; GERSCHENSON, L.; VIDALES, S. e NIETO, S. Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation. Report of the meeting between CYTED and UNILEVER Representatives, 1997.

LACERDA, M.A.D.; LACERDA, R.D., ASSIS, P.C.O. A participação da fruticultura no agronegócio brasileiro. Revista de Biotecnologia e Ciências da Terra, v.4, n.1. Disponível em: <http://www.ihendrix.br/biologia/revista/fruticultura.pdf> Acessado em: 16/01/2004.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and Application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p.391-413, 1996.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J. **Desidratação de Goiaba (Psidium guajava L.) por imersão e Secagem**. Campinas, 1999. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

TORREGGIANI, D. & BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structure effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001.

## CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

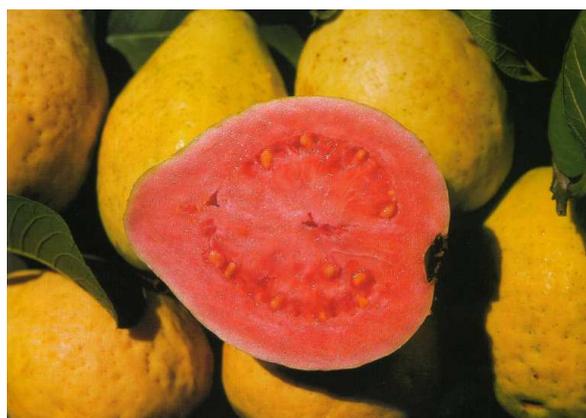
### RESUMO

Neste capítulo são reportadas as características gerais da goiaba, alguns princípios de conservação de alimentos e atividade de água ( $A_w$ ), fundamentos básicos da desidratação osmótica: sistemas de processamento, reaproveitamento de soluções desidratantes e parâmetros de qualidade. Uma compilação de vários trabalhos encontrados na literatura fundamenta o trabalho proposto nesta tese. A revisão discute a conveniência do processo convencional da secagem para a conservação de alimentos, que facilita o armazenamento e transporte do produto a um custo relativamente baixo, combinado à desidratação osmótica como etapa anterior à secagem, e seu efeito na conservação das propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do produto, bem como a eficiência do processo de desidratação osmótica através de sistemas que favoreçam o contato entre a solução desidratante e a fruta. O efeito da reutilização contínua da solução durante o processo osmótico e a revisão sobre a fruta escolhida para o estudo são também apresentadas.

## 2.1. A goiaba como matéria prima

A goiabeira, natural da América Tropical, encontra-se dispersa em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, sendo em diversas regiões, uma importante fonte alimentar dada a riqueza de seus frutos em nutrientes de elevada digestibilidade. A goiabeira pertence ao gênero *Psidium* L. da família *Myrtaceae*, que compreende mais de 100 espécies entre árvores e arbustos, dos quais muitos produzem frutos comestíveis. A espécie *Psidium guajava* L. de variedades vermelha e branca, é a de maior interesse comercial (LIMA *et al.*, 1999; LIMA & DURIGAN, 2000).

O tamanho, forma, coloração, aroma e sabor da goiaba são muito variáveis. Existem frutos grandes (100 a 200g), médios (60 a 100g) e pequenos (com menos de 60g), com formas que variam de redondas, piriformes, ovais, perfeitamente elípticas e oblongas (Figura 2.1). A coloração da casca varia entre verde-amarelada, amarela-clara, e amarela-avermelhada, sendo que a polpa pode apresentar diversas cores como branca, creme, amarela, amarela-ouro, vermelha forte e rosada. O aroma pode ser suave e agradável ou penetrante. O sabor varia entre doce, insípido e levemente ácido (PIZA & KAVATI, 1994).



**Figura 2.1.** Goiaba vermelha var. *Paluma*

No mercado brasileiro, as goiabas de polpa vermelha correspondem a, pelo menos, 75% da preferência do consumidor sendo também condição indispensável ao aproveitamento industrial na fabricação de goiabadas, goiabas em calda, sorvetes e polpa concentrada. Dentre os cultivares disponíveis no Brasil cabe destacar: *Kumagai*, *Ogawa*, *Pedro Sato*, *Sassaoka*, *Rica* e *Paluma* (Tabela 2.1), sendo esta última a mais difundida para industrialização. Os fatores que determinam a adequação da fruta para a indústria são o alto rendimento (produtividade da plantação), a concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) e pH. A época de produção de goiaba, no Brasil, encontra-se entre janeiro e março, com pico em fevereiro, porém, através da poda e irrigação é possível a colheita ao longo do ano todo. O amadurecimento dos frutos é acompanhado por uma série coordenada de processos físicos e bioquímicos, que resultam em síntese e degradação de pigmentos, conversão de amido em açúcares, perda na firmeza, produção de voláteis e aumento na respiração, já que é um fruto climatérico (LAZAN & ALI, 1993; BASHIR *et al.*, 2003). Acredita-se que os processos ocorridos durante o amadurecimento sejam regulados independentemente, mediante enzimas, e possivelmente por genes ou por uma família de genes específicos, ativados durante o amadurecimento (LAZAN & ALI, 1993).

A goiaba é considerada uma das frutas mais ricas em vitamina C, além de possuir consideráveis teores de vitamina A e do grupo B, como a tiamina e niacina, e importantes minerais como fósforo, ferro e cálcio. Vários estudos confirmam a riqueza da goiaba em inúmeras substâncias essenciais à saúde do ser humano (LIMA *et al.*, 1999; BRAMLEY, 2000). Segundo KAVATI (2001), além do alto teor de vitamina C, com 183,5 mg/100 grama de fruta, bastante superior ao da laranja (cerca de 53,2 mg/100g), a goiaba é também rica em outras substâncias, como o conteúdo em fibras, que varia de 4,0 a 5,6 mg/100g de fruta contra os 0,5-2,7 mg contidos em 100 g de laranja, e ainda, o conteúdo de licopeno, um importante carotenóide, cujo teor é da ordem de 5,4 a 6,5 mg/100g na goiaba, bastante superior ao contido no tomate (3,1 mg/100g). Todas estas características vantajosas da goiaba em relação a outras frutas são atualmente

reconhecidas no mundo todo. Portanto, o seu aproveitamento na forma de produtos processados, apresenta um grande potencial a ser utilizado.

**TABELA 2.1. VARIEDADES DA GOIABA BRASILEIRA**

Variedade	Cultivar	Finalidade	Casca	Aroma
Polpa vermelha	Paluma	Indústria/mesa	Lisa	Acentuado
	Rica	Indústria	Lisa	Acentuado
	Pedro Sato	Mesa	Semi-rugosa	Médio
	Sassaoka ou Cascão	Mesa	Rugosa	Suave
	Ogawa III	Indústria/Mesa	Semi-rugosa	Suave
Polpa branca	Kumagai	Mesa	Lisa	Suave

Fonte: AGROMILLORA TAPERÃO (2001).

O Brasil situa-se entre os principais produtores mundiais de goiaba com 17.776 hectares plantados e uma produção de 328.747 toneladas (IBGE, 2003). O cultivo da goiaba no Brasil está concentrado em São Paulo, com produção de 109.880 toneladas em 2003 (IBGE, 2003), seguido pelo Vale do São Francisco (Pernambuco e Bahia) que produziu 143.547 toneladas na mesma safra. Esta produção em crescimento é atribuída à recente descoberta de seu alto conteúdo em licopeno e suas características funcionais anticancerígenas, o que elevaram o consumo da fruta (BRAMLEY, 2000). Vários estudos constataram que as pessoas que consomem regularmente alimentos contendo licopeno estão menos vulneráveis a doenças cardiovasculares e diversos tipos de câncer (SHI, *et al.*, 1999; LERICI *et al.*, 2000).

## 2.2. Conservação de Alimentos e Atividade de água ( $a_w$ )

A água é o mais importante componente dos alimentos, sendo o agente controlador da deterioração dos mesmos. A atividade de água é uma função termodinâmica que pode ser definida pela razão entre a fugacidade da água no produto e a fugacidade da água pura no estado padrão, ambas à mesma temperatura. A atividade de água é uma função adimensional com valor entre 0 e 1.

A preservação de alimentos pela desidratação baseia-se na inibição do crescimento microbiano pela remoção de água livre; no entanto, é importante destacar que em função da composição e capacidade de ligação de seus componentes com a água, alimentos apresentando idênticos valores de atividade de água poderão evidenciar teores de umidade muito diversos (UBOLDI, 1981). A escolha da atividade de água ao invés do conteúdo de umidade, como um parâmetro de referência no processamento de alimentos e armazenamento é devido à sua influência no crescimento de microrganismos, reações de degradação química, enzimática e física.

Em função da atividade de água os alimentos podem ser classificados em:

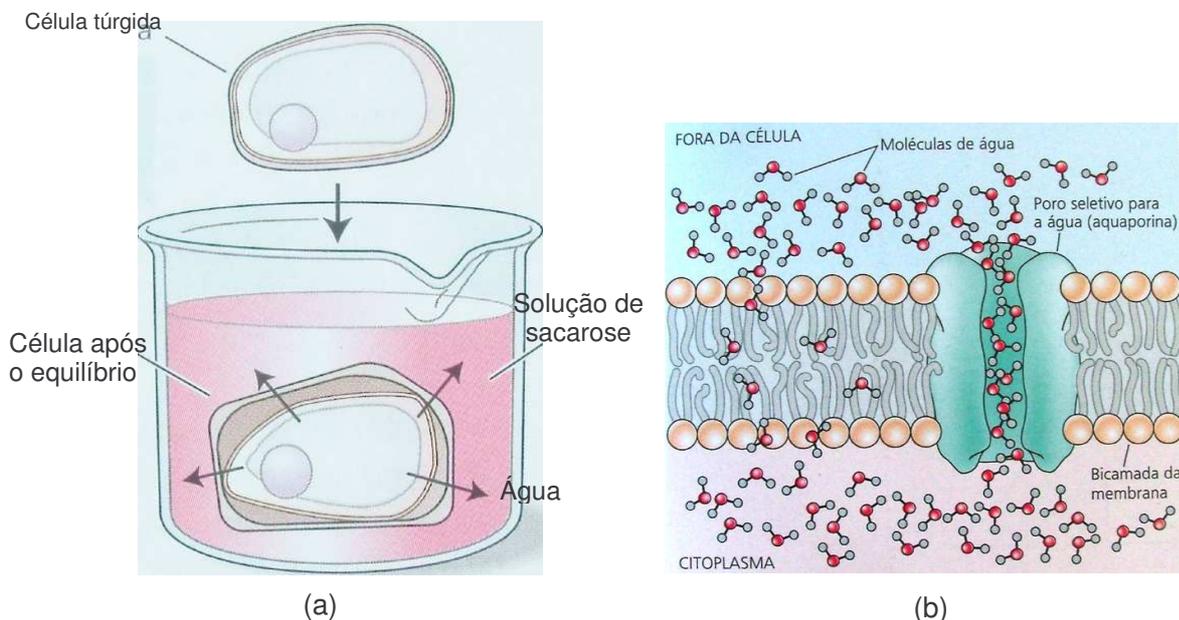
- *Alimentos de baixa  $a_w$* : apresentam  $a_w \leq 0,60$  e são microbiologicamente estáveis. Exemplos: mel, frutas secas, açúcar cristalizado;
- *Alimentos de  $a_w$  intermediária*: apresentam níveis de  $0,60 \leq a_w \leq 0,85$  e são sujeitos a processos de deterioração provocados principalmente por bolores e leveduras.
- *Alimentos de alta  $a_w$* : apresentam  $a_w \geq 0,85$  e são alimentos considerados altamente perecíveis por permitirem o crescimento de uma ampla variedade de microrganismos.

### 2.3. Fundamentos da Desidratação Osmótica

A desidratação osmótica de frutas consiste na redução da umidade através de sua imersão em uma solução desidratante. Este processo também denominado “desidratação-impregnação por imersão - DII” (RAOULT-WACK *et al.*, 1992; LENART, 1996) provoca a ocorrência de fluxos concomitantes através do tecido celular, como conseqüência da diferença de pressão osmótica entre a solução e a fruta: um fluxo de água difundindo-se desde o interior do produto até a solução e outro, em direção oposta, do soluto desidratante difundindo-se desde a solução até o produto (Figura 2.2 a,b). Além disso, há também a saída de alguns constituintes do produto (ácidos, pigmentos, vitaminas), que embora não tenham influência significativa na transferência de massa, podem modificar as

propriedades sensoriais e nutricionais do produto final (RAOULT-WACK, 1994; LENART, 1996; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

O fenômeno de transferência de massa entre o produto e o meio desidratante é estritamente afetado pela natureza do produto (espécie, variedade, nível de maturação, forma e tamanho, pré-tratamento) e pelas variáveis do processo como: composição/concentração do meio osmótico, relação solução/produto, agitação, temperatura, forma de contato e tempo de duração do processo (AZUARA *et al.*, 1992; LAZARIDES *et al.*, 1997; RASTOGI *et al.*, 2000).



Fonte: TAIZ & ZEIGER (2004)

**Figura 2.2** - Transferência de Massa durante o Processo de Desidratação Osmótica.  
 a) Desidratação da célula e b) Difusão da água no tecido celular

A desidratação osmótica é geralmente realizada à pressão atmosférica e temperaturas na faixa de 20 a 50°C. Altas temperaturas diminuem a viscosidade da solução desidratante e favorecem a transferência de massa, elevando o coeficiente de difusividade da água (LENART, 1996; LAZARIDES *et al.*, 1997). No entanto, em temperaturas próximas a 50°C, as membranas celulares do tecido vegetal começam a passar por mudanças irreversíveis, comprometendo a

permeabilidade seletiva das mesmas; como resultado, enzimas responsáveis pelo metabolismo celular são inativadas e tomam lugar reações que afetam a qualidade sensorial e nutricional do produto final (ALZAMORA *et al.*, 1997; SACHETTI *et al.*, 2001). Além disso, a perda da permeabilidade seletiva resulta em uma maior impregnação do soluto no produto, o que pode não ser desejável (SPIEB & BEHSNILIAN, 1998). Assim, a temperatura ótima de processo depende da estrutura do tecido celular da fruta e das posteriores etapas de conservação e temperaturas acima de 40 °C devem ser evitadas em alguns alimentos.

A fruta submetida ao tratamento osmótico é geralmente cortada em pequenos pedaços (cubos, fatias, palitos) favorecendo uma maior área de contato com a solução desidratante. Com o tempo, a fruta perde água e ganha solutos; porém a alteração global em massa é a perda de peso. O objetivo do tratamento osmótico é geralmente alcançar entre as primeiras 2 a 3 horas, uma perda de peso em torno de 50% (RAOULT-WACK, 1994). Durante este período, a velocidade de transferência de massa é alta, tendendo a diminuir com o tempo e, por isso, tratamentos mais longos não são justificados (LAZARIDES *et al.*, 1997).

Com a saída de água do produto, uma camada diluída do soluto é formada ao redor da fruta, que por convecção natural, com as diferenças de densidade entre a solução e a camada diluída chega-se a um equilíbrio de concentração após algum tempo (RAOUL-WACK, 1994). A aplicação de sistemas de agitação acelera esse equilíbrio e aumentam a relação de perda de água (PA) e ganho de solutos (GS) favorecendo a desidratação, especialmente durante a primeira hora de tratamento (MAVROUDIS *et al.*, 1998).

A velocidade de transferência de massa é também influenciada pela concentração e natureza dos agentes desidratantes. Concentrações elevadas de soluto do meio desidratante favorecem a saída da água promovendo uma relação de PA:GS maior. A escolha da solução desidratante dependerá do material a ser desidratado e está relacionada com o sabor, o custo e a capacidade de remoção de água (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001). Por estas razões, geralmente os açúcares (sacarose, glicose, frutose, maltodextrinas e outros) são usados na

desidratação de frutas (CHIRALT *et al.*, 2001; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001). No caso das hortaliças, o cloreto de sódio tem fornecido melhores resultados entre os sais disponíveis. Há também a utilização de misturas de sais e açúcares, polióis e sorbitol (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001; BARONI, 2004; TELIS *et al.*, 2004), havendo, porém, limitações de seu uso devido às alterações no sabor do alimento (SACHETTI *et al.*, 2001).

Além da saída da água e entrada do soluto no produto, a saída de alguns componentes da própria fruta pode favorecer ou não a qualidade do produto osmodesidratado. Em algumas frutas, a lixiviação de substâncias ácidas é desejada, havendo um efeito favorável sobre o aroma do produto final. No entanto, a saída de solutos hidrossolúveis como o ácido ascórbico é indesejável, podendo ser reduzida através do uso de soluções altamente concentradas (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

A integridade do tecido é essencial para controlar a entrada do soluto desidratante e a saída dos componentes da fruta. O tecido celular de diferentes espécies e até mesmo de diferentes cultivares da mesma espécie mostra diferente comportamento. Assim, qualquer pré-tratamento físico (branqueamento, congelamento) ou químico (sulfitação) e até mesmo o excesso de amadurecimento da fruta poderá aumentar o efeito da impregnação durante o tratamento osmótico, bem como facilitar a saída dos constituintes hidrossolúveis da fruta (LIN & SCHYVENS, 1995; CHIRALT *et al.*, 2001). Estas características devem ser consideradas para obter produtos com qualidade global desejável e na predição de modelos que auxiliem no desenvolvimento industrial do processo osmótico. A maior parte dos modelos matemáticos utilizados para determinar a difusividade aparente da água e do soluto são baseados na segunda lei de Fick, considerando várias suposições que simplificam seu cálculo. O resultado das difusividades obtidas a partir destes modelos é uma combinação das respectivas difusividades da água e do soluto que são geralmente consideradas constantes durante todo o processo, desprezando as propriedades e as alterações das membranas celulares do material biológico. (AZUARA *et al.*, 1992; KUNZEK *et al.*, 1999; RASTOGI *et al.*, 2000). Assim, modelos mais adequados, que consideram a

permeabilidade das membranas celulares, tortuosidade, fração de espaços vazios, encolhimento, entre outros, têm sido estudados (MAURO *et al.*, 2003 e SHI & LE MAGUER, 2003). Entretanto, a complexidade da modelagem matemática e a obtenção de parâmetros físicos específicos para cada tipo de tecido vegetal tornam, ainda, difícil seu uso. Porém, os trabalhos encontrados na literatura sobre a transferência de massa considerando o estudo microscópico mostram que não apenas as propriedades físicas do tecido vegetal afetam as taxas de desidratação osmótica, como também as características da solução desidratante e o tempo de exposição do material na solução (MAURO *et al.*, 2003 e SHI & LE MAGUER, 2003).

#### **2.4. Sistemas de Processamento em Desidratação Osmótica**

O princípio de cada sistema varia de acordo com o equipamento escolhido podendo ser: imersão do alimento em soluções com ou sem reaproveitamento, agitação, recirculação da solução desidratante em contra-corrente, leito fixo, pratos vibratórios, entre outros (MAROUZÉ *et al.*, 2001). Os sistemas de desidratação osmótica em escala piloto consistem principalmente de um tanque de armazenamento para a preparação da solução osmótica, uma bomba para o controle da velocidade do fluxo e um tanque de processamento. O produto é colocado no tanque de processamento onde a solução osmótica é bombeada através do mesmo a velocidade constante (VEGA-MERCADO *et al.*, 2001).

A maioria das técnicas propostas trabalha em batelada, enquanto outros sistemas aplicáveis ao processo osmótico podem operar em modo semicontínuo ou contínuo, sendo seu uso ainda limitado em escala piloto. O tempo de processamento, a necessidade de uma leve agitação e a flutuação das frutas na solução desidratante é fator que dificulta o desenvolvimento de sistemas de processamento contínuo (QI *et al.*, 1999; VEGA-MERCADO *et al.*, 2001).

VALDEZ-FRAGOSO & MUJICA-PAZ (2002), propuseram um equipamento em escala piloto para a desidratação de cubos de maçã, cujo sistema consistiu de um vaso desidratador provido de um agitador para gerar a agitação da solução, um filtro para separar as partículas em suspensão e um evaporador para

reconcentrar e aquecer a solução de sacarose. Os resultados da transferência de massa obtidos mostraram que o equipamento é adequado para a produção comercial de frutas osmodesidratadas.

QI *et al.* (1998) construíram um sistema contínuo por aspersão em escala piloto para frutas e vegetais com a finalidade de obter máxima remoção de água com mínimo tempo de residência. O equipamento foi testado com cenoura em cubos e solução ternária de sacarose/NaCl/água com concentração de sólidos totais ao redor de 50 a 55%, variando a concentração de açúcar (30 a 47%) e sal (8 a 18%), obtendo perda de água de 26% após 16 min em soluções com 44% de sacarose e 7% de sal. Outro trabalho realizado pelos mesmos autores (QI *et al.* 1999) utilizando concentrações de sacarose mais elevadas observou que acima de 60% as soluções, durante a recirculação, formavam cristais de açúcar obstruindo a passagem da solução pelos orifícios do sistema de aspersão. O NaCl foi considerado mais efetivo pelo elevado poder osmótico e por não apresentar problemas de incrustação. No entanto, o gosto salgado que o sal confere ao produto, é um fator limitante para sua aplicação em frutas.

## 2.5. Reaproveitamento de Soluções Desidratantes

A composição da solução (concentração e tipo de soluto) e a relação em peso fruta:solução são pontos importantes na eficiência do processo osmótico. Altas relações de solução/fruta promovem melhor efeito, mas exigem o uso de grandes volumes de solução que aumentam o custo do processo (DALLA ROSA & GIROUX, 2001; MAROUZÉ *et al.*, 2001). A minimização do volume de solução, a reconcentração e o reaproveitamento das soluções desidratantes são muito importantes para respostas a questões econômicas e de meio ambiente, pois o xarope descartado pode contaminar o meio, devido ao arraste de compostos orgânicos presentes. No entanto, o uso de menor relação solução:fruta, exige um controle para manutenção da concentração da solução.

O tipo e variedade de fruta a ser processada e o soluto da solução desidratante influenciam na relação fruta:solução. O reaproveitamento da solução osmótica é uma alternativa promissora, desde que controlados os parâmetros

necessários para sua reutilização (SPIESS & BEHSNILIAN, 1998; SZYMCZAK *et al.*, 1998; VALDEZ-FRAGOSO *et al.*, 1998; GARCÍA-MARTINÉZ *et al.*, 2002). A solução pode ser eventualmente filtrada para excluir partículas (sementes, pedaços do material e outros), tratada termicamente para reduzir a contaminação microbiológica (ex. pasteurização) e reconcentrada por evaporação ou adição de solutos (MAROUZÉ *et al.*, 2001; GARCÍA-MARTINÉZ *et al.*, 2002). No entanto, o número de vezes do reaproveitamento da solução pode ser limitado pela eficiência do tratamento para a reutilização e pelas características sensoriais da solução (excesso de pigmentos ou aromas extraídos da fruta, ou a caramelização do xarope devido ao tratamento térmico). Quando a solução não pode ser mais reutilizada, esta poderia ser aproveitada em outra linha de processo (VALDEZ-FRAGOSO & MUJICA-PAZ, 2002; VALDEZ-FRAGOSO *et al.* 1998). Vários usos têm sido sugeridos para as soluções de açúcar, provenientes dos processos osmóticos; como por exemplo, a produção de bebidas (misturando com suco de frutas, diluindo com água e adicionando dióxido de carbono), geléias, frutas em calda, frutas açucaradas ou para ração animal (SPIESS & BEHSNILIAN, 1998). O descarte de soluções multicomponentes, que contêm sal e açúcares, apresenta maiores problemas para posterior aplicação.

Apesar de freqüentemente sugeridos, poucos trabalhos têm sido realizados sobre o estudo das propriedades das soluções reconcentradas e reaproveitadas visando o aspecto da economia de energia no processo de desidratação osmótica (SZYMCZAK *et al.*, 1998; GARCÍA-MARTINÉZ *et al.*, 2002).

## **2.6. Fundamentos do processo de secagem em frutas**

A técnica de desidratação mais empregada na produção de frutas secas é a secagem por ar quente que consiste em expor o material a uma corrente de ar quente. Durante o tratamento ocorrem os processos simultâneos de transferência de calor e massa. Os fatores que governam a velocidade destes fenômenos de transferência determinam a taxa de secagem, tais como pressões de vapor d'água do ar e no material, temperatura e velocidade do ar, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta.

O processo de secagem baseado na transferência de calor e de massa pode ser dividido em três períodos (STRUMILLO & KUDRA, 1986):

Período de pré-aquecimento: Neste período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Esse aumento continua até que o material atinja a temperatura do bulbo úmido do ar.

Período de taxa constante: A taxa de secagem é constante e a água evaporada está livre. O transporte de massa é controlado pela taxa de transferência de calor e enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para que ocorra evaporação, a taxa de secagem será constante. A temperatura do produto se mantém na temperatura de bulbo úmido do ar.

Período de taxa decrescente: A umidade neste ponto é chamada de “ponto crítico do processo”. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, por tanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, podendo atingir a temperatura do ar de secagem. A secagem se encerra espontaneamente quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem.

Os métodos para calcular a taxa de secagem diferem segundo o período de taxa constante ou taxa decrescente. Para frutas, o período de taxa decrescente é quase sempre o único observado, e nesse caso a transferência interna de água é quem governa e fixa a taxa de secagem. A taxa de secagem pode ser calculada tanto pelas equações de transporte de calor e de massa, considerando-se para ambos os casos as variações nas condições externas.

A etapa limitante da secagem é o transporte de massa interno por difusão. Muitos são os mecanismos apresentados que discutem a forma na qual ocorre a migração da umidade para a superfície do material; no entanto, em materiais biológicos observa-se que a teoria da difusão líquida é a mais aceita como mecanismo de transporte de massa predominante e, portanto, a maioria dos trabalhos científicos que tratam do tema a utiliza.

Para descrever matematicamente os processos de secagem têm-se utilizado modelos matemáticos que se baseiam na teoria da difusão líquida de água baseada na 2ª Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Porém, ainda são encontrados trabalhos que utilizam modelos empíricos como o modelo exponencial e de Page (PARK *et al.*, 2002; EL AOUAR *et al.* 2003; SIMAL *et al.*, 2004) que relacionam a umidade adimensional como uma função exponencial do tempo, obtendo resultados aceitáveis.

## 2.7. Secagem de produtos osmo-desidratados

Alimentos desidratados convencionalmente podem ser armazenados e transportados a um custo relativamente baixo. A remoção de água leva, entretanto, a uma séria diminuição nos valores nutritivos e sensoriais em relação ao produto fresco, além de alterações na textura, lenta e incompleta reidratação, perda de suculência entre outros. Assim, um tratamento da matéria-prima prévio à secagem é aconselhável para preservar aspectos de qualidade do produto (LENART, 1996; PIOTROWSKI *et al.*, 2004).

A desidratação osmótica tem sido principalmente estudada como um pré-tratamento a diferentes operações de desidratação tais como secagem por ar quente, liofilização, secagem a vácuo e microondas (ERLE & SCHUBERT, 2001; PROTHON *et al.*, 2001). A utilização do processo osmótico como pré-tratamento ao processo de secagem por ar quente, é um método alternativo para a obtenção de frutas de umidade intermediária (atividade de água entre 0,6 e 0,8) e tem sido sugerida por diversos pesquisadores como uma forma de diminuir o tempo de residência do produto no secador, colaborando assim com a redução da demanda energética do processo e dos prejuízos à qualidade do produto final (AGUILERA & PARADA, 1992; LENART, 1996). Apesar do tempo de secagem de produtos osmodesidratados ser menor, há uma diminuição na velocidade de secagem que é atribuída ao efeito da impregnação do soluto à superfície, devido à camada ao redor da fruta que dificulta a saída de água (KARATHANOS & KOSTAROPOULOS, 1995; WELTI *et al.*, 1995; REPPA *et al.*, 1998). Por outro

lado, a existência desta camada parece prevenir o encolhimento excessivo do tecido durante a secagem, proporcionando maior conservação da textura do produto (DEL VALLE *et al.*, 1998; LEWICKI & LUKASZUK, 2000).

O tempo de secagem, após tratamento osmótico preliminar, depende do teor de umidade inicial e final do produto, bem como da temperatura e da velocidade do fluxo de ar da secagem (RAMASWAMY & NSONZI, 1998; PAN *et al.*, 2003; PIOTROWSKI *et al.*, 2004). LEWICKI *et al.* (2002) apresentaram os efeitos de pré-tratamento osmótico na secagem de tomate. Quartos de tomate foram imersos em soluções de  $\text{CaCl}_2$  com e sem subsequente imersão em solução de sacarose a 61,5° Brix a 30° C, e observaram que a imersão em  $\text{CaCl}_2$  aumentou as taxas de desidratação osmótica e o tempo de secagem. O produto imerso em solução de sacarose não apresentou efeito significativo no tempo de secagem em relação ao que não foi impregnado com açúcar.

BARONI & HUBINGER (1998) observaram a influência do pré-tratamento osmótico na secagem de cebola desidratada em solução salina a 10% à temperatura de 60°C, obtendo um produto com coloração similar à cebola *in natura* e com melhor qualidade final, que a cebola seca sem pré-tratamento. Resultados semelhantes foram obtidos com outros produtos por KROKIDA *et al.*, 2000b; SZYMCZAK *et al.*, 1998; ERLE & SCHUBERT, 2001, entre outros.

Segundo KARATHANOS & KOSTAROPOULOS (1995), a difusividade da água durante a secagem de maçãs por ar quente a 55°C, diminuiu com o aumento da concentração do soluto na solução osmótica usada na pré-desidratação (15 a 45% de sacarose), provavelmente devido à redução da porosidade do tecido celular pela impregnação do açúcar, com subsequente colapso celular durante a secagem. Similar redução da difusividade da água foi observada por ISLAM & FLINK (1982) com fatias de batata tratadas com soluções de sacarose e sacarose:sal e RAHMAN & LAMB (1990) trabalhando com rodela de abacaxi e sacarose, entre outros.

O conhecimento e a adequada escolha dos parâmetros que influenciam os processos de desidratação osmótica (agente desidratante, temperatura e tempo

de processo, agitação, relação fruta:solução) e secagem (parâmetros de secagem) são fundamentais para a obtenção de produtos com qualidade próxima ao alimento fresco.

## **2.8. Qualidade dos produtos desidratados por osmose e secagem**

A qualidade de um produto engloba propriedades sensoriais, valor nutritivo, constituintes químicos, propriedades mecânicas e funcionais (ABBOTT,1999; AUERSWALD *et al.*, 1999).

As tendências atuais do uso de desidratação osmótica como tratamento preliminar na conservação de alimentos, são dirigidas principalmente no sentido de melhorar a qualidade do produto, pois favorece a retenção dos constituintes do material (SPIESS & BEHSNILIAN, 1998). Em comparação com a secagem simples, sua associação com a desidratação osmótica resulta em um produto mais atraente e de textura mais agradável, sendo, portanto, mais aceitável tanto para consumo direto quanto para a incorporação em sorvetes, iogurtes, queijos, etc. Além da melhor textura, a cor (pigmentos), o sabor e a manutenção do valor nutricional (vitaminas) e do aroma são favorecidos pela incorporação de açúcares durante o processamento (SPIESS & BEHSNILIAN, 1998; TORREGGIANI *et al.*, 1999; CAMARGO *et al.*, 2004).

## **2.9. Parâmetros de qualidade**

### **2.9.1. Textura**

A textura tem sido um fator limitante para a aceitação dos produtos devido aos hábitos dos consumidores, os quais tornaram-se mais sofisticados e com maior sensibilidade para perceber sutis diferenças na textura (SHEWFELT, 1999). Assim, a importância da textura como atributo de qualidade vem aumentando significativamente e pesquisas sobre técnicas mais eficientes de preservação com o mínimo grau de dano ao produto, vêm sendo estudadas (ILKER & SZCZESNIAK, 1990, CHIRALT *et al.*, 2001). Dependendo dos tratamentos

aplicados, os alimentos processados podem tornar-se excessivamente moles ou duros (LIN & SCHYVENS, 1995; COSTELL *et al.*, 1997).

Na desidratação osmótica, a transferência de massa que toma lugar durante o processo afeta a composição química da fruta e modifica suas propriedades físicas devido a alterações fisiológicas na célula, que são consequência das reações químicas e bioquímicas que acontecem no tecido celular. Todos esses fenômenos provocam alterações macroscópicas nas propriedades mecânicas e nas características do produto, diretamente relacionadas à textura do produto (ILKER & SZCZESNIAK, 1990; CHIRALT, *et al.*, 2001).

Vários trabalhos têm mostrado que a desidratação osmótica favorece à maciez do tecido e ao menor encolhimento durante a secagem devido à impregnação do soluto desidratante durante a desidratação osmótica. Assim, quanto maior a entrada do soluto durante o pré-tratamento osmótico, o produto osmodesidratado e seco apresenta menor resistência à compressão que aquele desidratado sem pré-tratamento (MONSALVE-GONZÁLEZ, *et al.*, 1993; LEWICKI & LUKASZUK, 2000).

Os processos combinados de desidratação osmótica e secagem com ar quente podem fornecer produtos mais ternos a baixas atividades de água que produtos desidratados sem pré-tratamento o que pode ser agradável para comer na forma de “snacks” ou para incorporar a produtos de panificação, sorvetes, queijos ou iogurte (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

Os ensaios instrumentais trazem a vantagem de fornecer dados padronizados e uma linguagem única entre pesquisadores (ABBOT, 1999). Instrumentalmente, a textura é quantificada de acordo com as propriedades mecânicas das amostras em ensaios que procuram, muitas vezes, imitar o comportamento humano (PONS & FISZMAN, 1996). Os ensaios mais utilizados são os que utilizam compressão uniaxial, tanto até altas como a baixas deformações. No primeiro caso o ensaio é utilizado para avaliar a ruptura do produto (propriedades mecânicas) e no último (relaxação de tensões empregadas)

para a determinação das características viscoelásticas dos produtos alimentícios (KROKIDA *et al.*, 1998; KROKIDA *et al.*, 2000a).

Os materiais viscoelásticos apresentam um comportamento intermediário entre um sólido perfeitamente elástico e um líquido puramente viscoso. Em um líquido perfeitamente viscoso, a tensão de cisalhamento depende linearmente da taxa de deformação. No líquido viscoso, o trabalho mecânico necessário para produzir qualquer deformação é dissipado instantaneamente. Por outro lado, em um sólido perfeitamente elástico, a tensão depende linearmente da magnitude de deformação aplicada. O trabalho mecânico empregado na deformação é totalmente armazenado em forma de energia elástica.

Nos alimentos viscoelásticos, quando a relação entre a tensão aplicada e a deformação resultante é linear, considera-se que o material apresenta um comportamento viscoelástico linear e os parâmetros reológicos são somente função do tempo. Entretanto, o comportamento geral dos materiais também pode variar com a intensidade da força aplicada (altas deformações), e nestes casos o material apresenta um comportamento viscoelástico não linear (BOURNE, 1982). O intervalo de valores de deformação ou força que um material apresenta comportamento linear depende de sua composição e estrutura.

Em um experimento de relaxação de tensões, que é a situação de interesse neste trabalho, o material é submetido repentinamente a uma dada deformação -  $\varepsilon_H$  (Equação 2.1), e observa-se o comportamento da tensão ao longo do tempo (Equação 2.2). Os materiais viscoelásticos relaxam sua estrutura ao longo do tempo chegando a uma tensão ( $\sigma$ ) de equilíbrio, cujo valor depende da estrutura molecular do material (STEFFE, 1996).

$$\varepsilon_H = \ln\left(\frac{H_t - H_o}{H_o}\right) \quad (2.1)$$

$$\sigma = \frac{F_t}{A_t} \quad (2.2)$$

Sendo  $H_0$  e  $H_t$  a altura da amostra inicial e em um tempo  $t$  (m);  $F_t$  a força do material em um tempo  $t$  (N) e  $A_t$ , a área em função do tempo ( $m^2$ ).  $A_t$  foi determinada considerando material incompressível.

LEWICKI & LUKASZUK (2000), mostraram através de testes de compressão e relaxação em cubos de maçã secos ( $70^\circ\text{C}$ , 1,5 m/s) com e sem tratamento osmótico (solução de sacarose a 61,5% por 3h), que o material osmo-desidratado é mais susceptível à deformação do que o material desidratado convencionalmente para um mesmo teor de umidade. A solução de açúcar concentrada na camada superficial da maçã osmo-desidratada previne a formação de uma camada rígida sobre a superfície da fruta favorecendo a uma textura menos dura.

Testes de penetração para avaliar o grau de firmeza foram aplicados em 3 lotes de kiwi fresco estocados em diferentes tempos e temperaturas (38 dias a  $0^\circ\text{C}$ , 30 dias a  $10^\circ\text{C}$  e 20 dias a temperatura ambiente) e em kiwi desidratado osmoticamente por duas horas em solução de sacarose (70%) nas mesmas condições de estocagem. A avaliação do grau de firmeza (firme, médio, mole) na fruta fresca, mostrou que a maior diferença encontrada entre os três lotes foi o conteúdo de protopectina que foi relacionada diretamente com a textura (maior conteúdo, maior firmeza). Nas frutas desidratadas osmoticamente houve um leve aumento da firmeza em todos os lotes, concluindo-se que na desidratação osmótica o leve aumento da firmeza parece ser devido ao aumento da concentração de sólidos solúveis na fruta e não às alterações na protopectina (TORREGGIANI *et al.*, 1999).

### **2.9.2. Cor**

A cor é um importante fator para a aceitação dos produtos pelos consumidores devido à correlação visual direta entre frescor e sabor (CHUA *et al.*, 2000). Junto com o melhoramento da textura, a incorporação de solutos durante a desidratação osmótica pode modificar a composição da fruta, favorecer a retenção dos pigmentos, evitar o escurecimento enzimático e fornecer produtos mais

atraentes para o consumo (LENART, 1996; KROKIDA *et al.*, 2000b,c; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

A cor, no âmbito da física ótica, é um feixe de radiações luminosas com uma determinada distribuição espectral (cor-radiação). Os materiais transferem a luz que chega a eles de forma que a luz transmitida tem diferente distribuição espectral (cor-material). A capacidade de um material de alterar a distribuição espectral da luz depende da sua composição química e da sua estrutura (CALVO & DURAN, 1997).

Técnicas instrumentais utilizando espectrofotômetros (Color Quest, Minolta) tem sido aplicadas para obter uma avaliação objetiva da cor através dos Sistemas de cores (Munsell, Hunter, CIE, CIELAB). Os sistemas se baseiam numa mistura de cores a partir de três estímulos fundamentais (vermelho, verde e azul), com relação à percepção humana dos atributos sensoriais de tonalidade, luminosidade e saturação analisados sob o espaço cromático em coordenadas retangulares (FERREIRA, 1991; CALVO & DURAN, 1997). Entre estes sistemas, o sistema CIELAB, é atualmente o mais aplicado porque além de definir o espaço cromático em coordenadas retangulares ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), o define também em coordenadas cilíndricas ( $L^*$ ,  $h^*$ ,  $C^*$ ). A luminosidade é representada por  $L^*$ , enquanto que a intensidade da cor é representada pelos parâmetros de croma  $a^*$  e  $b^*$ , onde  $a^*$  varia do vermelho (valor positivo) ao verde (valor negativo) e o  $b^*$  do amarelo (valor positivo) ao azul (valor negativo). A diferença de croma das amostras tratadas com o padrão é definida pela variação da cromaticidade  $\Delta C^*$ , e o grau de tonalidade, ou tom da cor, pelo ângulo *hue*  $h^*$  (CALVO & DURAN, 1997), estes últimos definidos pelas seguintes equações:

$$\Delta C^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.3)$$

$$h^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2.4)$$

Vários pesquisadores vêm avaliando as alterações de cor através de sistemas de cor por determinação instrumental para uma padronização mais efetiva deste atributo, visto que a importância tecnológica da cor reside na possibilidade de utilizá-la como índice de transformações naturais de alimentos frescos ou de mudanças ocorridas durante o processamento industrial (CALVO & DURAN, 1997).

No caso de frutas submetidas à desidratação osmótica, o grau de interferência na cor, irá depender das condições de processo (solução desidratante, concentração, temperatura, tempo, agitação). Assim, o aumento da temperatura (acima de 50°C) e a duração do processo (tempos maiores que duas horas) são fatores críticos que podem afetar a perda dos pigmentos da fruta (HENG *et al.*, 1990; NSONZI & RAMASWAMY, 1998; SHI *et al.*, 1999). No entanto, em condições apropriadas de processamento, é possível reduzir a mudança de cor, mantendo boas taxas de desidratação (CHUA, *et al.*, 2000). TORREGGIANI *et al.* (2001), observaram maior retenção de pigmentos em fatias de morangos osmodesidratadas em diferentes soluções desidratantes (sacarose, maltose, sorbitol) conservadas a -10°C por 6 meses que em frutas congeladas sem o pré-tratamento, atribuindo este efeito à impregnação de solutos do meio desidratante. Porém não foram observadas diferenças de cor entre os produtos tratados com os diferentes açúcares utilizados.

A deterioração da cor em frutas é causada por vários mecanismos como reações de escurecimento enzimático e não-enzimático do tipo Maillard. Em alguns casos, como no reaproveitamento de soluções desidratantes, o escurecimento do xarope e do produto, pode ser atribuído à oxidação pela enzima polifenol-oxidase presente na fruta (SZYMCZAK *et al.*, 1998).

### **2.9.3. Análise sensorial**

O primeiro julgamento feito pelo consumidor nos alimentos é a aparência visual. Entretanto o sabor, aroma e textura também influenciam o seu julgamento, sendo que estes parâmetros podem ser prejudicados pelo processo de secagem (ALLAEDDINI & DJOMEH, 2004). Assim, a avaliação sensorial, sendo uma

análise de qualidade obtida por nossas sensações, é tão importante quanto as análises físicas, químicas e microbiológicas dos alimentos.

A preferência sensorial por produtos secos com prévio tratamento osmótico foi observada por ALLAEDDINI & DJOMEH (2004) em fatias de kiwi osmodesidratadas e secas, a impregnação da sacarose, no pré-tratamento osmótico, favoreceu a aceitação do produto quando comparado com a fruta sem pré-tratamento, sendo avaliado como doce e de sabor agradável.

ALVES (2003) na secagem de acerola pré-tratada em soluções binárias de água-sacarose, também obtiveram melhor aceitação em produtos osmodesidratados e secos a 50 e 70°C. Similar resultado foi obtido por FALADE *et al.* (2003) em fatias de maçã osmodesidratadas e secas.

#### **2.9.4. Conteúdo microbiano**

A importância do aspecto microbiológico durante o reaproveitamento da solução desidratante no processo osmótico é fundamental para manter sob controle o nível de contaminação da solução e limitar o seu reuso. Infelizmente, poucos trabalhos são encontrados neste aspecto, sendo que somente nos últimos anos alguns artigos relacionados com o potencial de crescimento microbiano em produtos osmodesidratados foram publicados (GIANOTTI *et al.*, 2001).

O processo osmótico e, em particular, a carga microbiana inicial da solução pode influenciar a contaminação dos produtos osmodesidratados e assim sua vida de prateleira. O uso de altas concentrações (acima de 55°Brix) na desidratação osmótica possibilita a diminuição do crescimento microbiano (GIANOTTI *et al.*, 2001). No entanto, sabe-se que certos microrganismos são particularmente tolerantes a altas concentrações de sacarose (osmofílicos) e sua presença pode causar numerosos problemas nos setores onde se manipulam grandes quantidades de açúcar (GARCÍA-MARTÍNEZ *et al.*, 2002), como é o caso do processamento osmótico com solução de açúcares.

BRANDÃO *et al.* (2003) estudaram a desidratação osmótica e secagem solar de manga em cubos, foram utilizadas soluções de sacarose variando de 45 a

65°Brix a 65°C, por 15 min, com posterior secagem solar durante 48 a 72 h até obter um produto com atividade de água entre 0,65 e 0,85. A avaliação microbiológica dos produtos revelou baixos valores de contagem de bolores e leveduras e de coliformes totais e fecais, inclusive após 180 dias de armazenagem a 28°C, validando o processo combinado de desidratação osmótica e secagem solar na obtenção de produtos de umidade intermediária estáveis a temperatura ambiente.

### **2.9.5. Qualidade nutricional**

#### **2.9.5.1. Carotenóides**

A importância dos carotenóides não é somente atribuída à cor que eles conferem às frutas, mas também aos benefícios à saúde, tanto pela atividade pró-vitamínica A que alguns destes compostos apresentam, como pelas suas ações antioxidante e imunomoduladora. Tais benefícios levam à diminuição do risco de doenças degenerativas como o câncer, degeneração macular e doenças cardiovasculares e, portanto, têm sido bastante investigados. Porém, dados do conteúdo de carotenóides, em alimentos na forma como são consumidos ainda são escassos (ARIAS, *et al.*, 2000; SÁ, 2001).

A degeneração dos carotenóides, com concomitante perda da cor e da vitamina A, é um problema comum no processamento e armazenamento de frutas (PADULA & RODRIGUEZ-AMAYA, 1987). Várias pesquisas constataram que quanto menor a temperatura e o tempo de cozimento, maior a preservação do conteúdo de  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno e carotenóides totais (SANT'ANA *et al.*, 1998; SHI *et al.*, 1999), visto que o tratamento térmico inativa as enzimas responsáveis pela biossíntese dos carotenóides e, estimula a isomerização e oxidação destes compostos, resultando em perdas. Assim, tanto o processamento quanto o tempo de armazenamento diminuem gradualmente o teor destes componentes. Porém, alguns estudos relatam níveis de retenção de  $\beta$ -caroteno acima do encontrado no material fresco, o que não pode ser considerado como um aumento verdadeiro, pois não há nenhuma possibilidade do acréscimo de carotenóides durante o processamento. Entre as explicações encontradas para este fenômeno PADULA &

RODRIGUEZ-AMAYA (1987) e RODRIGUEZ-AMAYA (1997) descrevem que a extração de carotenóides em amostras cozidas é mais fácil que em amostras cruas; amostras cruas são mais susceptíveis a oxidação enzimática que as cozidas, o que diminui o teor de carotenóides durante a análise. Por outro lado, na quantificação de carotenóides em produtos desidratados, muitas vezes, os autores não consideram o conteúdo de massa seca ao compará-los com o produto fresco.

Diante do exposto, processos que favoreçam a retenção ou diminuam a degradação dos carotenóides vem sendo analisados. A desidratação osmótica como tratamento prévio à secagem tem mostrado ser uma técnica eficiente para uma melhor conservação quando comparada à secagem convencional. SHI *et al.* (1999), comprovaram que o pré-tratamento osmótico a baixas temperaturas favoreceu a preservação de licopeno (carotenóide principal), atribuindo à impregnação do açúcar na fruta esta retenção, pois o açúcar presente atua como uma barreira para o oxigênio e diminuindo a oxidação do licopeno.

Entre os principais fatores que afetam a composição dos carotenóides de um alimento pode ser citado o cultivar ou variedade do vegetal, parte da planta analisada, estadio de maturação, condições pós-colheita, localização geográfica do cultivo (efeito climático) e modo de preparo para o consumo (RODRIGUES-AMAYA, 1997).

A preservação dos carotenóides também pode ser associada à cor, através da correlação do conteúdo de carotenóides com a avaliação instrumental dos parâmetros de cor  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  (ARIAS *et al.*, 2000). Foi constatado que durante o amadurecimento do tomate, os valores de  $a^*$  aumentam como consequência da síntese do licopeno e do esgotamento da clorofila, representando a mudança da cor verde para vermelha. O parâmetro de luminosidade  $L^*$  diminui durante os primeiros estágios do amadurecimento da fruta, permanecendo posteriormente constante, possuindo uma provável correlação com o estágio final do amadurecimento, embora não se consiga distinguir entre os grupos de maturação vermelha, vermelha intensa com textura firme e vermelha intensa com textura

macia. A diminuição do L\* com a maturação reflete o escurecimento da fruta com a síntese dos carotenóides e a perda da cor verde.

### 2.9.5.2. Vitamina C

Definida genericamente como ácido ascórbico, é uma das vitaminas mais importantes para a nutrição humana, sendo que 90% da vitamina C são supridos pelas frutas e verduras. A vitamina C previne o escorbuto e mantém saudável a pele, gengivas e vasos sanguíneos. Além disso, são conhecidos pela sua função biológica na formação do colágeno, absorção de ferro, redução do colesterol, estímulo do sistema imunológico e reação com radicais livres. Como antioxidante reduz o risco de arteriosclerose, doenças cardiovasculares e algumas formas de câncer (LEE & KADER, 2000). Porém, é muito sensível à destruição quando a fruta é submetida a condições adversas de manipulação e/ou armazenamento (VIEIRA *et al.*, 2000). Foi constatado que as perdas da vitamina C são maiores quando os produtos sofrem algum dano físico, ou são armazenados por longo tempo e expostos a altas ou baixas temperaturas. Além disso, a vitamina C é facilmente oxidada, especialmente em soluções aquosas e alcalinas (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

Em processos de conservação como a secagem, a degradação da vitamina C chega a ser de 100% (PADULA & RODRIGUEZ-AMAYA, 1987; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001). Técnicas que preservem ou favoreçam sua retenção durante o processamento e armazenamento, são foco da pesquisa atual. Neste sentido, a desidratação osmótica como pré-etapa à secagem, apresenta-se como uma alternativa promissora, favorecendo a retenção e a estabilidade da vitamina C, pela impregnação de solutos durante o tratamento osmótico (FORNI *et al.*, 1997; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

O tipo de soluto desidratante utilizado influencia no grau de retenção da vitamina; assim, a maltose mostrou ser mais eficiente que a sacarose na desidratação de damascos (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001). Por outro lado alguns autores sugerem que produtos pré-desidratados osmoticamente em soluções com soluto de alto peso molecular, apresentam temperatura de transição

vítrea ( $T_g$ ) mais elevada e, conseqüentemente, as frutas osmodesidratadas teriam menor colapso estrutural durante a secagem, diminuindo as alterações deteriorativas como a velocidade de degradação do ácido ascórbico, além do escurecimento não enzimático e a atividade da fenolase (FORNI *et al.*, 1997; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

## 2.10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J.A. Quality Measurement of Fruits and Vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v.15, p.207-225, 1999.

AGROMILLORA TAPERÃO. **Desenvolvimento de mudas: Goiaba**. Disponível em: <http://www.agromillorataperao.com.br/goiaba.html> Acessado em 10 de julho de 2001.

AGUILERA, J.M. e PARADA E. Cytod - DAHI: An Ibero-American project on moisture foods and combined methods technology. **Food Research International**, v.25, p. 159-165, 1992.

ALLAEDDINI, B. & DJOMEH, Z. E. Formulation and quality improvement of dried kiwifruit slices using an osmotic pre-treatment. **Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS 2004)**. São Paulo, Brazil. V.C, p.2127-2132, 2004.

ALVES, D.G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. Campinas, SP: 2003. 149p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

ALZAMORA, S. Preservación I- Alimentos conservados por factores combinados In: CITED-Instituto Politécnico Nacional. **Temas en Tecnología de alimentos**, Mexico, Ed: José Miguel Aguilera, 1997, v.1, p337.

ARIAS, R.; LEE, T.C.; LOGENDRA, L. e JANES, H. Correlation of Lycopene Measured by HPLC with the  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  Color Readings of a Hydroponic Tomato and the Relationship of Maturity with Color and Lycopene Content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.1697-1702, 2000.

AUERSWALD, H.; PETERS, P.; BRÜCKNER, B.; KRUMBEIN, A. e KUCHENBUCH, R. Sensory analysis and instrumental measurements of short-term stored tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Postharvest Biology and Technology**, v.15, p.323-334, 1999.

AZUARA, E.; BERISTAIN, C.I. e GARCIA, H.S. Development of a Mathematical Model to Predict Kinetics of Osmotic Dehydration. **Journal of Food Science and Technology**, v.29 n.4, p.239-242, 1992.

- BARONI, A.F. e HUBINGER, M.D. Drying of Onions: Effects of pretreatment on moisture transport. **Drying Technology**, v.16, p.2083-2094, 1998.
- BARONI, A.F. 2004. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. Campinas, SP. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.
- BASHIR, H. A.; ABU-BAKR; ABU-GOUKH, A. Compositional changes during guava fruit ripening. **Food Chemistry**, v.80, p.557–563, 2003.
- BRAMLEY, P.M. Is lycopene beneficial to human health? **Phytochemistry** v.54, p.233-236, 2000.
- BRANDÃO, M.C.C.; MAIA, G.A.; LIMA, D.P.; PARENTE, E.J.S.; CAMPELLO, C.C.; NASSU, R.T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P.H.M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.1, p.38-41, 2003.
- BOURNE, M.C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 1982, 327p.
- CALVO, C. e DURÁN, L. Propiedades Físicas II – Ópticas y Color. In:122 CITED-Instituto Politécnico Nacional. **Temas en Tecnología de alimentos**, v.1, Mexico, Ed: José Miguel Aguilera, 1997, v.1, p261-288.
- CAMARGO, G.A.; MORETTI,R.H.; LEDO, C.A.S. Quality of dried tomato pre-treated by osmotic dehydration, antioxidant application and addition of tomato concentrate. Drying 2004 – **Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium** (IDS 2004), v.C, p.2207-2215, 2004.
- CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; TALENS, P. e MORAGA, G. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes (Cryoprotectant effect). **Journal of Food Engineering**, v.49, p.129-135, 2001.
- CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. J.; CHOU, S. K.; HAWLADER, M. N. A. e HO, J. C. Convective Drying of Banana, Guava and Potato Pieces: Effect of Cyclical Variations of Air Temperature on Drying Kinetics and Color Change. **Drying Technology**, v.18, p.907-936, 2000.
- DALLA ROSA, M. e GIROUX, F. Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.223-236, 2001.
- DEL VALLE, J.M.; CUADROS, T.R.M. e AGUILERA, J.M. Glass transitions and shrinkage during and storage of osmosed apple pieces. **Food Research International**, v.31-3, p.191-204, 1998.
- EL-AOUAR, A.A.; AZOUBEL, P.M. e MURR, F.E.X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Engineering**, v.59, n.1, p.85-91, 2003.
- ERLE, U. e SCHUBERT, H. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.193-199, 2001.

FALADE, K. O.; AKINWALE, T. O.; ADEDOKUN, O. O. Effect of drying methods on osmotically dehydrated cashew apples. **European Food Research and Technology**. v.216, n.6, p.500-504, 2003.

FERREIRA, V.L.P. **Colorimetria em Alimentos**. Campinas: Ed. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1991, 43p.

FISZMAN, S. **Textura Aplicada a Pães, Biscoitos e Massas Alimentícias: Bases Teóricas de la Determinación de la Textura de Alimentos Sólidos**. (Apostila) CHOCOTEC – ITAL, 1998.

FORNI, E.; SORMANI, A.; SCALISE, S. e TORREGGIANI, D. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. **Food Research Internacional**, v.30, p.87-94, 1997.

GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MARTINEZ-MONZÓ, J.; CAMACHO, M.M. e MARTINEZ-NAVARRETE, N. Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. **Food Research Internacional**, v.35, p. 307-313, 2002.

GIANOTTI, A.; SACCHETTI, G.; GUERZONI, M.E. e DALLA ROSA, M. Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.265-270, 2001.

HENG, K; GUILBERT, S. e CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: Influence of process variables on the product quality. **Sciences des Aliments**, v.10, p.831-848, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2003. **Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes**. Ed. IBGE In: Cd Rom. 91p.

ILKER, R. e SZCZESNIAK, A.S. Structural and chemical bases for texture of plant foodstuffs. **Journal of Texture Studies**, v.21, p.1-36, 1990.

KARATHANOS, V.T. e KOSTAROPOULOS, A. E. Air drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, v.13, n.5-7, p.1503-1521, 1995.

KAVATI, R. **Produção integrada de goiaba**. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI, Campinas. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br> Acessado em 26 de julho de 2001.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Viscoelastic behavior of dehydrated carrot and potato. **Drying Technology**, v.16, p.687-703, 1998.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T. e MAROULIS Z.B. Effect of Osmotic Dehydration on Color and Sorption Characteristics of Apple and Banana. **Drying Technology**, v.18, p.937-950, 2000a.

KROKIDA, M. K.; KIRANOUDIS, Z. B.; MAROULIS, Z. B. e MARINOS-KOURIS, D. Effect of Pretreatment on Color of Dehydrated Products. **Drying Technology**, v.18, p.1239-1250, 2000b.

- KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T. e MAROULIS, Z.B.. Effect of osmotic dehydration on viscoelastic properties of apple and banana. **Drying Technology**, v.18, p.951-966, 2000c.
- KUNZEK H.; KABBERT R. e GLOYNA D. Aspects of material science in food processing: changes in plant cell walls of fruits and vegetables. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung A-Food Research and Technology**, v.208, p.233-250, 1999.
- LAZAN, H. e ALI, Z.M. Cell hydroelases and their potential in the manipulation of ripening of tropical fruits. **ASEAN Food Journal**, New York, v.8, n.2, p.47-53, 1993.
- LAZARIDES, H.N.; GEKAS, V. e MAVROUDIS, N. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. **Journal of Food Engineering**, v.31, p.315-324, 1997.
- LEE, K.S. e KADER, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v.20, p.207-220, 2000.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and Application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p.391-413, 1996.
- LEWICKI, P.P. e LUKASZUK, A. Effect of Osmotic Dewatering on Rheological Properties of Apple Subjected to Convective Drying. **Journal of Food Engineering**, v.45, p.119-126, 2000.
- LEWICKI, P.P.; LE, H.V.; LAZUKA, W.P. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v.54, p.141-146, 2002.
- LERICI, C.R.; NICOLI, M.C. e ANESE, M. The “weight” given to food processing at the “food and cancer prevention III” symposium. **Italian Journal of Food Science**, v.12, n.1, p.3-7, 2000.
- LIMA, M.A.; DURIGAN, J.F.; PEREIRA, F.M. e FERRAUDO, AS. Caracterização Físico-química dos Frutos de 19 Genótipos de Goiabeira, Obtidos na FCAV-UNESP. **Revista Brasileira Agropecuária**, p.252-257, 1999.
- LIMA, M.A. e DURIGAN, J.F. Conservação de Goiabas “Pedro Sato” Associando-se Refrigeração com Diferentes Embalagens Plásticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.22, n.2, p.232-236, 2000.
- LIN, Z. e SCHYVENS, E. Influence of blanching treatments on the texture and color of some processed vegetables and fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, v19, p.451-465, 1995.
- MAROUZÉ, C.; GIROUX, F.; COLLIGNAN, A. e RIVIER, M. Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.207-221, 2001.
- MASTRANGELO, M.M.; ROJAS, A.M.; CASTRO, M.A.; GERSCHENSON, L.N. e ALZAMORA, S.M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80 p.769-776, 2000.

- MAURO, M.A.; TAVARES, D.Q. e MENEGALLI, F.C. Behavior of plant tissue in osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**. v.56, p.1-15, 2003.
- MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V. e SJÖHOLM, I. Osmotic Dehydration of Apples-Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.191–209, 1998.
- MONSALVE-GONZÁLEZ, A.M.; BABOSA-CÁNOVAS, G.V. e CAVALIERI, R.P. Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. **Journal of Food Science**, v.58, p.1118-1124, 1993.
- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE I. e SERRA, J.A. Effect of Blanching/Osmotic Dehydration Combined Methods on Quality and Stability of Minimally Processed Strawberries. **Food Research International**, v.33, p.609-616, 2000.
- NSONZI, F. & RAMASWAMY, H.S. Quality Evaluation of Osmo-convective Dried Blueberries. **Drying Technology**, v.16, p.705-723, 1998.
- PADULA, M. & RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Changes in individual carotenoids and vitamin C on processing and storage of guava juice. **Acta Alimentaria**, v.16, p.209-216, 1987.
- PAN, Y.K.; ZHO, L.J.; ZHANG, Y.; CHEN, G.; MUJUMDAR, A.S. Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. **Drying Technology**, v.21, n.6, p.1101-1114, 2003.
- PARK, K.J.; BIN, A. e BROD, F.P.R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.56, p.97-103, 2002.
- PIOTROWSKI, D.; LENART, A.; WARDZYNSKI, A. Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.519-525, 2004.
- PIZA JR. & KAVATI, R. **A cultura da goiaba de mesa**. Campinas: CATI, 1994. 29p. (Boletim técnico, 219, CATI).
- PONS, M. e FISZMAN, S.M. Instrumental Texture Profile Analysis with Particular Reference to Gelled Systems. **Journal of Texture Studies**, v.27, p.597-694, 1996.
- PROTHON, F; AHRNÉ, L.M.; FUNEBO, T; KIDMAN, S; LANGTON, M. e SJÖHOLM, I. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology**, v.34, n.2, p.95-101, 2001.
- QI, H.; SHARMA, S.K.; LE MAGUER, M. Modeling Multicomponent Mass Transfer in Plant Material in Contact with Aqueous Solutions of Sucrose and Sodium Chloride During Osmotic Dehydration. **International Journal of Food Properties**, v.2, n.1, p.39-54, 1999.
- QI, H.; LEMAGUER, M.; SHARMA, S.K. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. **Journal of Food Process Engineering**, v.21, p.75-88, 1998.

- RAHMAN, M.S. e LAMB, J. Osmotic Dehydration of Pineapple. **Journal of Food Science Technology**, v.27, n.3, p.150-152, 1990.
- RAMASWAMY, H.S. e NSONZI, F. Convective-Air Drying Kinetics of Osmotically Pre-treated Blueberries. **Drying Technology**, v.16, p.743-759, 1998.
- RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, v.5, p.255-260, 1994.
- RAOULT-WACK, A.L.; LAFONT, F. e GUILBERT, S. **Osmotic Dehydration: Study of Mass Transfer in Terms of Engineering Properties**. In Drying'89, ed. A.S. Mujumdar. International Science Publishers, New York, p.487-495, 1992.
- RASTOGI, N.K; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Synergistic effect of High Hydrostatic Pressure Pretreatment and Osmotic Stress on Mass Transfer During Osmotic Dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.45, p.25–31, 2000.
- REPPA, A.; MANDALA, J.; DOSTAROPOULOS, A.E.; SARAVACOS, G.D. Influence of Solute Temperature and Concentration on the Combined Osmotic and Air Drying. Drying 98 - Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS'98), v.A, p.860-867, 1998.
- RODRIGUEZ-AMAYA D.B. Carotenoids and food preparation: The retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed and stored foods. Arlington: **Oportunities for Micronutrient Intervention (OMNI)**, 1997.
- ROOS, Y.H. **Phase Transitions in Foods**, Academic Press, Inc., San Diego, USA, 1995,
- SACHETTI, G.; GIANOTTI, A.; DALLA ROSA, M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.163-173, 2001.
- SÁ, M.C. 2001. **Carotenóides em alimentos preparados para o consumo: Comparação de análise direta e cálculo pelos dados de retenção**. Campinas, Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp.
- SANT'ANA, H.M.P.; STRINGHETA, P.C.; BRANDÃO, C.C.; AZEREDO, R.M.C. Carotenoid retention and vitamin A value in carrot (*Daucus carota* L.) prepared by food service. **Food Chemistry** v.61, p.145-151, 1998.
- SHI J.; LE MAGUER, M.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A.; NIEKAMP, F. Lycopene Degradation and Isomerization in Tomato Dehydration. **Food Research International**, v. 32, p.15–21, 1999.
- SHI, J. e LE MAGUER, M. Mass transfer in cellular material at solid-liquid contacting interface. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**. v.36, p.3-11, 2003.
- SPIESS, W.E.L. e BEHSNILIAN, D. Osmotic Treatments in Food Processing Current State and Future Needs. Drying 98 - **Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS'98)**, v.A, p.47-56, 1998.

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2 ed. USA: Freeman Press, 1996.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. New York: Gordon and Breach Science, Topics in Chemical Engineering, 1986, 448p.

SZYMCZAK, J.A.; PLOCHARSKY, W.J.; KONOPACKA, D. The Influence of Repeated use of Sucrose Syrup on the Quality of Osmo-convectively Dried Sour Cherries. **Drying 98 - Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS'98)**, v.A, p.895-902, 1998.

TAIZ, L. e ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TELIS, V.R.N.; MURARI, R.C.B.D.L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.253-259, 2004.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v.26, p.59-68, 1993.

TORREGGIANI, D. & BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structure effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001.

TORREGGIANI, D.; FORNI, E.; MAESTRELLI, A.; QUADRI, F. Influence of Osmotic Dehydration on Texture and Pectic Composition of Kiwifruit Slices. **Drying Technology**, v.17, p.1387-1397, 1999.

UBOLDI, E.M.N. Atividade de água: influencia sobre desenvolvimento de microorganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do ITAL**, v.3, n.18, p.353-383, 1981.

VALDEZ-FRAGOSO, A. e MUJICA-PAZ, H. Reuse of sucrose syrup in pilot-scale osmotic Dehydration of Apple cubes **Journal of Food Process Engineering** v.25, n.3, p.125-139, 2002.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Pilot plant for osmotic dehydration of fruits: Design and evaluation. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.189-199, 2002.

VEGA-MERCADO, H.; GONGORA-NIETO, M.M. e BARBOSA-CANOVAS, G.V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.271-289, 2001.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Properties of a sucrose solution reused in osmotic dehydration of Apples. **Drying Technology**, v.16, p.1429-1445, 1998.

VIEIRA, M.C.; TEIXEIRA, A.A. e SILVA, C.L.M. Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. **Journal of Food Engineering**, v.43, p.1-7, 2000.

WELTI, J.; PALOU, A.; LÓPEZ-MALO, M. e BALSEIRA, A. Osmotic concentration-drying of mango slices. **Drying Technology**, v.13, n.18-2, p.405-416, 1995

## **CAPITULO III - CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA OSMÓTICO SEMICONTÍNUO: AVALIAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE MASSA E DA QUALIDADE EM RELAÇÃO AO SISTEMA DE BATELADA**

### **RESUMO**

Um sistema semicontínuo para a desidratação osmótica de goiabas foi construído. O sistema consistiu de dois vasos desidratadores, bandejas móveis de malha de aço inoxidável, um tanque pulmão provido de agitador e aquecedor e uma bomba para recircular a solução, localizada entre o desidratador e o tanque pulmão. Os vasos desidratadores foram construídos em chapa de acrílico e aço inoxidável em forma de paralelepípedo. Cinéticas de desidratação osmótica de goiabas foram realizadas no desidratador (sistema semicontínuo), variando a vazão mássica da solução osmótica (77, 540 e 773 kg/h). Os resultados encontrados foram comparados com as cinéticas obtidas em escala de laboratório (béqueres com agitação rotacional). As condições de processo para ambos os sistemas foram: solução de sacarose a 60 % (p/p), 40°C, relação fruta:solução 1:10 e sete horas de processamento. A solução desidratante no sistema semicontínuo foi reutilizada por seis vezes para avaliar as cinéticas, sem correção da concentração. O fluxo da solução através do leito de sólidos no desidratador semicontínuo foi misto, entretanto as diferenças na perda de peso e de água não foram significativas entre vazões

mássicas de 540 e 773 Kg/h e o sistema batelada, sendo estabelecida para o sistema a vazão de 540 kg/h.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Na conservação de alimentos, a quantidade de água presente é responsável pela estabilidade do material, podendo a remoção da água ser feita através da concentração, congelamento, secagem ou liofilização, segundo o grau de estabilidade que se queira obter. A secagem e o congelamento são os métodos mais comuns para preservar frutas e legumes. Entretanto, as características próprias do material fresco como textura, cor, suculência, sabor e aroma são consideravelmente reduzidos. A liofilização fornece produtos desidratados com alta qualidade, porém o alto consumo de energia, requerido no processamento, reduz potencialmente sua aplicação em alimentos, sendo esta técnica bastante utilizada para produtos de alto valor agregado, como fármacos, por exemplo. Assim, várias metodologias têm sido estudadas com o objetivo de melhorar as características sensoriais dos produtos desidratados, sem que implique em um consumo de energia muito elevado. Entre elas, a desidratação osmótica vem sendo empregada com sucesso na preservação sensorial e nutricional do alimento. O processo osmótico consiste na imersão do material em soluções concentradas em condições de temperatura e tempo suficientes para obter transferência de massa desejável entre o soluto e o solvente. A desidratação osmótica explora a dupla propriedade que os alimentos tem, a de perder parte da água livre contida no interior do alimento e a de incorporar solutos, quando imersos em solução concentrada favorecendo, além da desidratação, a formulação direta do produto. A preservação das propriedades sensoriais e nutricionais dos produtos obtidos é atribuída às temperaturas de tratamento moderadas, e de certo modo, à impregnação do soluto que minimiza a atividade dos compostos responsáveis pelas alterações organolépticas (VIAL, *et al.*, 1991; KROKIDA *et al.*, 2000a; LEWICKI & LUKASZUK, 2000; MORENO *et al.*, 2000).

O tratamento osmótico vem sendo sugerido como uma etapa prévia à secagem ou ao congelamento para obter produtos com menor conteúdo de água que garantam a estabilidade do alimento, porém com melhor qualidade. Contudo, um dos maiores problemas em adotar a desidratação osmótica na indústria é a falta de informação sobre equipamentos, a necessidade do uso de elevadas quantidades de solução desidratante, o seu descarte e o controle das condições de processamento (QI *et al.*, 1999; DALLA ROSA & GIROUX 2001; MAROUZE *et al.*, 2001; NONO *et al.*, 2001).

Os sistemas de processamento encontrados na literatura referem-se em sua maioria a sistemas em escala de laboratório utilizando béqueres como recipiente para desidratação. Poucas são as publicações sobre sistemas aplicáveis ao processo osmótico industrial como são o sistema intermitente, semicontínuo e contínuo. Uma compilação dos principais equipamentos usados em escala piloto ou versões para uso industrial foi publicada por MAROUZÉ *et al.* (2001) onde os equipamentos apresentados foram classificados de acordo com o tipo de contato entre o material e a solução desidratante, sendo estes: material imerso na solução sem agitação (com e sem renovação da solução, com movimento lento do alimento), com agitação contínua (através de agitadores mecânicos, aspensão da solução sobre esteiras de leito fixo em contra-corrente ou concorrente com o material) ou com agitação intermitente, entre outros. Porém, o elevado custo dos mesmos limita sua aplicação.

VALDEZ-FRAGOSO *et al.*, 2002, propuseram um equipamento em escala piloto para a desidratação de cubos de maçã. O sistema consistia de um vaso desidratador provido de um sistema de agitação para a solução, um filtro para separar as partículas em suspensão e um evaporador para reconcentrar e aquecer a solução de sacarose. Os resultados da transferência de massa obtidos, mostraram que o equipamento é adequado para a produção comercial de frutas osmodesidratadas.

QI *et al.* (1998) construíram um sistema contínuo por aspensão para desidratação osmótica de cubos de cenoura, utilizando como solução

desidratante uma mistura de soluções de sacarose e sal a diferentes concentrações. As condições mais eficientes de processo encontradas foram uma mistura de solução de sacarose (44%) e sal (7%) por 16 min de processo, apresentando perda de água ao redor de 26% no produto. Concentrações mais elevadas de sacarose obstruíram o sistema de aspersão devido à alta viscosidade e à cristalização do açúcar. Além disso, o cloreto de sódio foi considerado mais efetivo que a sacarose pelo alto poder osmótico e por não apresentar problemas de viscosidade. No entanto, o gosto salgado que o sal confere ao produto, é um fator limitante para a aplicação em frutas.

As vantagens dos sistemas contínuos em relação ao sistema em batelada residem, basicamente, na redução do tempo de operação do processo e no reaproveitamento da solução desidratante, que implica em menor custo de processo.

Diante do exposto, o objetivo deste capítulo foi construir um sistema semicontínuo para a desidratação osmótica de goiabas, determinar os coeficientes de transferência de massa e avaliar a qualidade do produto final, comparando-os com goiabas desidratadas em um sistema de batelada.

## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1. Material**

#### **3.2.1.1. Construção do Equipamento**

Foram construídos três tanques para desidratação osmótica semicontínua, dois em acrílico e um em aço inoxidável. Os três equipamentos tinham as mesmas dimensões, geometria e capacidade ( $0,015 \text{ m}^3$ ) para facilitar a comparação dos resultados.

A construção dos equipamentos foi realizada considerando que o tratamento osmótico é um processo de transferência de massa em uma interface sólido-líquido, em que a fruta (fase sólida) entra em contato com a fase líquida (solução com alta concentração de solutos) de forma a promover o

transporte entre solutos e solventes. Assim, as condições estabelecidas para a construção de um equipamento que levasse às melhores taxas de transferência de massa com boa qualidade do produto e possibilitasse a avaliação dos resultados obtidos foram:

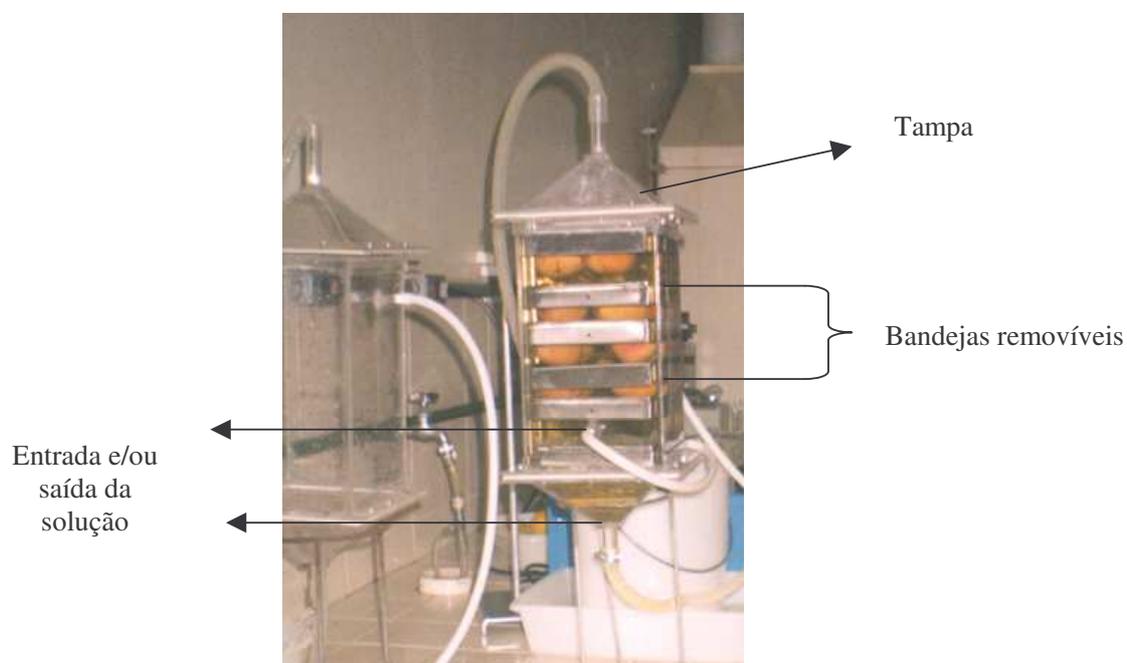
1. Circulação contínua da solução desidratante para evitar a formação de camadas de soluto (açúcar) ou do solvente (água retirada do alimento) ao redor da fruta;
2. Ausência de dano mecânico na fruta (quebra, esmagamento ou esfarelamento);
3. Disponibilidade para trabalhar com diferentes geometrias de corte (frutas inteiras, em fatias, cubos, metades, etc) e diferentes proporções entre a fruta e a solução;
4. Praticidade na introdução e remoção das frutas;
5. Facilidade no controle dos parâmetros do processo: temperatura da solução e da fruta, concentração da solução e recirculação do meio.

Desta maneira, os equipamentos em acrílico foram construídos para favorecer a visualização do fluxo da solução desidratante e seu comportamento fluidodinâmico durante o processo, porém os ensaios de desidratação tinham que ser realizados com vazões mássicas limitadas de solução, de forma a evitar o rompimento dos mesmos. O desidratador em aço inoxidável mais robusto e resistente foi posteriormente construído e permitiu trabalhar com vazões de solução superiores a 540 kg/h, podendo ter sido feita a verificação da influência da vazão no processo de desidratação.

Os equipamentos em acrílico, mostrados na Figura 3.1, foram construídos utilizando placas de acrílico com 3 mm de espessura. As dimensões do corpo do desidratador foram: 300 mm de altura, 180 mm de largura e 180 mm de profundidade (Figura 3.2). Doze bandejas móveis em malha de aço inoxidável (aço 304), com abertura de 4 mm x 4 mm foram construídas para distribuir a fruta ao longo do corpo do sistema.

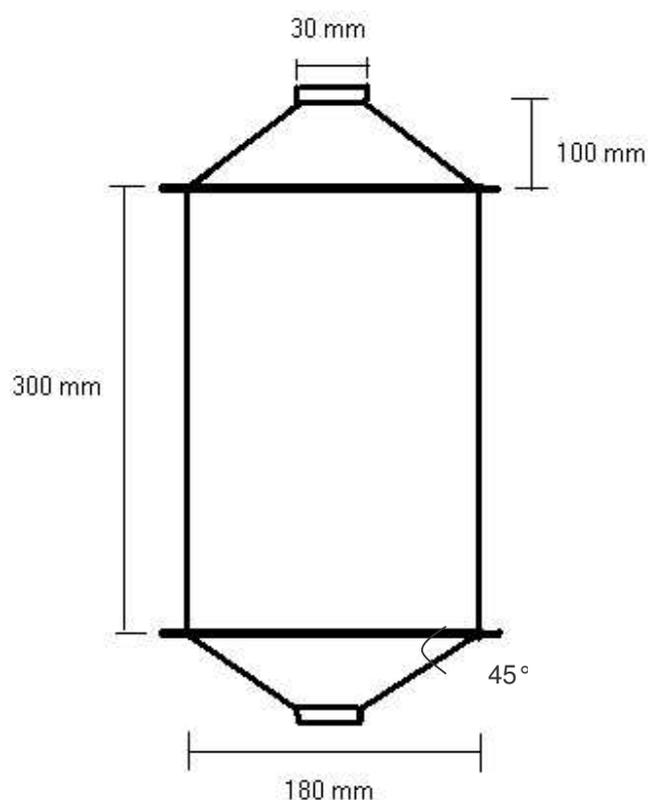
As extremidades (topo e fundo) do equipamento foram construídas de forma a facilitar a entrada e a remoção da solução e das bandejas. Nas laterais do equipamento foram perfurados orifícios para também facilitar a entrada e saída da solução. O enchimento e a recirculação da solução dentro do sistema foi realizado através de uma bomba de lóbulos marca Cole-Parmer Instrument Co. Modelo N° 7549-40 (USA) com vazão máxima de 773 kg/h.

Mangueiras de silicone atóxicas próprias para sistemas alimentícios foram utilizadas na conexão dos equipamentos com os demais acessórios. Os acessórios utilizados para compor o sistema de desidratação foram: um tanque pulmão com capacidade de 30 litros, um aquecedor/agitador elétrico marca Cole-Parmer Modelo 1266-02 (USA), instalado no tanque pulmão para manter a solução na temperatura desejada, dois termômetros de mercúrio de 0 a 100°C marca Polyscience – USA para verificar a temperatura da solução na entrada e na saída do equipamento e válvulas de abertura e fechamento tipo borboleta para controlar a vazão.



**Figura 3.1.** – Esquema do Equipamento semicontínuo de desidratação osmótica, fabricado em acrílico

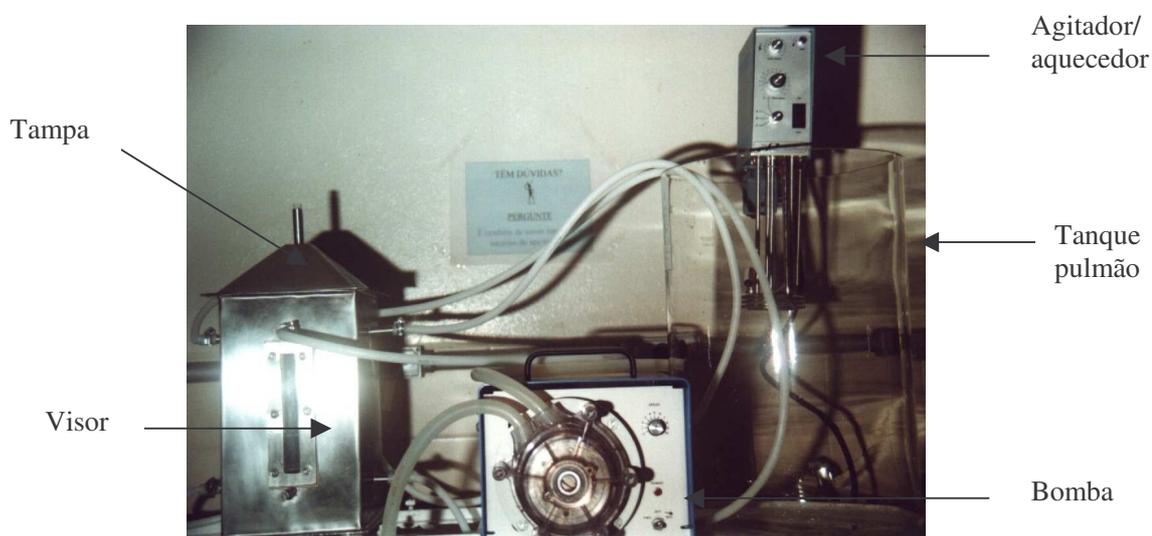
Diferentes formas de alimentação foram testadas (parte superior, inferior e lateral) com e sem fechamento do sistema. Porém, o fechamento do sistema e o processamento à 40°C implicavam na formação de vapor aumentando a pressão interna do sistema, o que poderia levar à ruptura do equipamento. Para contornar esta situação, decidiu-se trabalhar com o sistema semi-aberto (sem vedação) sendo alimentado pela parte inferior.



**Figura 3.2.** – Dimensões do tanque para desidratação osmótica no sistema semicontínuo fabricado em acrílico (quatro partes iguais).

O equipamento em aço inoxidável foi construído nas mesmas dimensões do equipamento em acrílico, porém quatro saídas/entradas para a solução foram acrescentadas nas laterais do desidratador, duas na parte superior e duas na parte inferior para possibilitar o aumento de vazão e da turbulência. Um visor de acrílico foi colocado em uma das partes laterais para facilitar a visualização interna do sistema. A tampa móvel do equipamento foi construída

em formato cônico para facilitar a colocação de uma válvula de alívio (Figura 3.3).

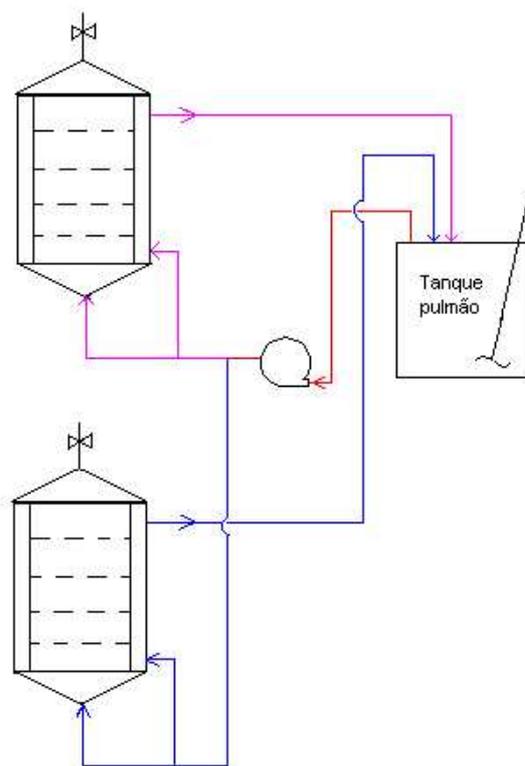


**Figura 3.3.** - Equipamento semicontínuo de desidratação osmótica fabricado em aço inoxidável.

### 3.2.1.2. Montagem do sistema semicontínuo

O sistema semicontínuo consistiu na montagem dos dois equipamentos colocados em série, conforme mostrado na Figura 3.4. Os equipamentos eram alimentados por bombeamento com a solução de sacarose contida no tanque pulmão, mas somente um deles trabalhava por vez. O equipamento que não estava trabalhando era limpo e posteriormente alimentado com as goiabas para poder desidratar no período de parada do outro equipamento. A contínua alimentação da solução (recirculação), promoveu a agitação necessária para facilitar a transferência de massa entre o meio e a fruta. No tanque pulmão a solução de sacarose era aquecida até  $42^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ) sob ligeira agitação para ter uma temperatura mais homogênea em todo o sistema. Alcançada a temperatura, a solução era bombeada para o primeiro equipamento previamente preenchido com a fruta. A solução ingressava no equipamento a  $41^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), e retornava ao tanque pulmão a  $40^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). O monitoramento da

concentração da solução era realizado no tanque pulmão a cada 15 minutos por leitura do conteúdo de sólidos solúveis da solução utilizando um refratômetro de bancada.



**Figura 3.4.** Esquema da montagem do sistema semicontínuo de desidratação osmótica.

### 3.2.1.3. Matéria-prima

Foram utilizadas goiabas (*Psidium guajava* L.) da variedade vermelha, adquiridas no Centro de Abastecimento de Campinas – CEASA, Campinas – SP. Devido à disponibilidade dos cultivares encontrados foi realizado um prévio estudo das características físicas e químicas dos cultivares “*Cascuda*”, “*Paluma*” e “*Sato*” para a escolha do cultivar a ser utilizado nos ensaios experimentais.

As frutas foram selecionadas de acordo com o peso (130 a 140g), tamanho, aparência (frutas saudáveis), formato (uniforme) e grau de maturação (frutas maduras, porém firmes) a fim de obter amostras mais homogêneas. As

goiabas foram descascadas por tratamento químico com solução aquecida (70°C) de hidróxido de sódio (NaOH) a 2%, imersas por 50 segundos e descascadas por atrito, sendo posteriormente lavadas com água clorada (200ppm de cloro ativo), cortadas em metades, removidas as sementes, novamente sanitizadas e levemente enxugadas com papel absorvente.

#### **3.2.1.4. Agente desidratante**

A solução desidratante foi preparada com sacarose comercial e água destilada com concentração de 60% (p/p). Esta concentração foi previamente escolhida como sendo a melhor condição de processo para a desidratação osmótica de goiabas (SANJINEZ-ARGANDOÑA, 1999).

### **3.2.2. Processo de Desidratação Osmótica**

#### **3.2.2.1. Desidratação Osmótica – Sistema batelada (SB)**

Baseado no trabalho apresentado por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999), a desidratação no sistema batelada foi realizado com goiabas descascadas, cortadas em metades, sem sementes e sanitizadas com solução de cloro ativo a 200ppm. As goiabas foram pesadas e colocadas em frascos de 600 mL contendo solução de sacarose a 60% e aquecida a 40°C. A relação fruta:solução utilizada foi de 1:10 (p/p).

Os frascos foram colocados em uma mesa incubadora Modelo TE420, Marca TECNAL (Brasil) com agitação de 120 rpm, previamente estabelecido por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999) de forma a garantir completa homogeneidade e contato integral da amostra com a solução desidratante. Após o processo, a goiaba foi drenada, enxaguada com água destilada para retirar o excesso de xarope e colocada sobre papel absorvente. Posteriormente foi pesada e retiraram-se alíquotas para a determinação de análises físicas e químicas.

Para avaliar o comportamento da transferência de massa e compará-lo com o do sistema semicontínuo foram realizados ensaios em diferentes tempos: 30, 60, 120, 180, 300 e 420 min.

### 3.2.2.2. Desidratação Osmótica – Sistema semicontínuo

A matéria-prima devidamente cortada e pesada foi distribuída em oito bandejas e colocada dentro do 1º equipamento. A alimentação da solução desidratante previamente aquecida foi feita por bombeamento e a agitação do meio foi garantida pela recirculação da solução de sacarose entre o sistema e um tanque pulmão, onde se monitorou e controlou a temperatura do processo e a concentração da solução. Enquanto transcorria o tempo de desidratação no 1º equipamento, eram distribuídas goiabas nas bandejas do 2º equipamento. Após o tempo de desidratação, a solução de sacarose do 1º equipamento era direcionada para o 2º iniciando-se a desidratação osmótica. Esvaziado o 1º equipamento, este era lavado, sanitizado e novamente carregado com goiabas distribuídas em bandejas, e assim sucessivamente, de forma a manter a continuidade do processo osmótico.

Foram realizados ensaios de desidratação osmótica em diferentes tempos, conforme descritos no sistema batelada, para avaliar a cinética de transferência de massa entre os sistemas. A solução de sacarose utilizada foi reaproveitada em todos os ensaios de cada cinética sem correção da concentração. Em cada batelada, 1 kg de fruta foi desidratada com 10 kg de solução de sacarose a 60°Brix (relação fruta:solução 1:10) aquecida a 40 °C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ).

As goiabas retiradas dos equipamentos eram enxaguadas com água clorada para retirar o excesso de xarope, colocadas sobre papel absorvente por 15 minutos e pesadas.

Os ensaios das cinéticas foram feitos em duplicata e para cada tempo de cada uma das cinéticas, foram retiradas quatro amostras aleatoriamente, totalizando oito amostras para análise.

As variáveis de processo aplicadas ao sistema são mostradas na Tabela 3.1.

Para avaliar a influência do tipo de escoamento na transferência de massa entre os sistemas, foi calculado o número de Reynolds.

O número de Reynolds aplicado ao sistema de batelada em béqueres (SB) foi calculado pela Equação 3.1 (Mavroudis *et al.*, 1998) e para os tratamentos em sistema semicontínuo (SSC), pela equação 3.2 (Lewis, 1993).

$$Re = \frac{\rho \times N \times D_1^2}{\mu} \quad (3.1)$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_2}{\mu} \quad (3.2)$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_3}{\mu} \quad (3.3)$$

$$v = \frac{\dot{Q}}{A_L} \quad (3.4)$$

Onde: **N** é o número de rotações por segundo ( $s^{-1}$ ), **Re** o número de Reynolds (adimensional),  **$\rho$**  a densidade da solução de sacarose a 60°Brix ( $kg/m^3$ ),  **$\mu$**  a viscosidade da solução de sacarose a 60°Brix ( $kg/m \cdot s$ ), **v** a velocidade média do fluido (m/s) no tanque de desidratação (Equação 3.4), **Q** a vazão mássica ( $m^3/s$ ), **A** área do leite, **D<sub>1</sub>**, **D<sub>2</sub>** e **D<sub>3</sub>** o diâmetro do béquer, do tanque e do furo da bandeja (m), respectivamente.

**TABELA 3.1.** - CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO SISTEMA SEMICONTÍNUO COM VAZÃO MÁSSICA DE 77 KG/H (SSC-77), 540 KG/H (SSC-540) E 773 KG/H (SSC-773) NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS.

Tratamento	Relação Fruta:solução	Concentração de sacarose (%)	Temperatura (°C)	Nº bandejas	Vazão mássica de solução (kg/h)
SSC-77	1:10	60	40	8	77
SSC-540	1:10	60	40	8	540
SSC-773	1:10	60	40	8	773

SSC: Sistema semicontínuo

### 3.2.2.3. Determinações físicas e químicas

Durante o tratamento de cada batelada, amostras de goiaba (aproximadamente 150 g) e de solução de sacarose (100 mL) foram tomadas no início e no final do processo.

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico e a acidez titulável por titulação de acordo com os métodos 22.013, 22008 da AOAC (1996).

A determinação da atividade de água foi realizada por medida direta em higrômetro Aqualab, modelo CX-2T (Aqualab – Decagon Devices Inc., USA) à temperatura de 25°C.

O pH das amostras foi medido por leitura direta em potenciômetro digital, marca Mettler Toledo, modelo pH320 (Brasil), previamente calibrado com soluções-padrão de pH 7 e 4, a partir da fruta liquefeita e homogeneizada a 25°C.

Os açúcares totais foram determinados pelo método químico de Lane Eynon baseado na oxidação do cobre, (RANGANNA, 1978). Os sólidos solúveis foram mensurados por leitura direta em refratômetro de bancada.

A cor das goiabas frescas e pré-desidratadas osmoticamente foi avaliada por leitura direta do produto em um espectrofotômetro de bancada marca Hunter Lab, modelo Color Quest II (USA), pertencente ao Laboratório Instrumental (DEPAN, FEA, UNICAMP). O espectrofotômetro foi previamente calibrado com os padrões branco (X=77.46; Y=82.08; Z=88.38) e cinza (X=47.71; Y=50.83; Z=54.94); no módulo de reflectância especular excluída (RSEX) utilizando uma fonte de iluminação D65 e ângulo de detecção de 10°. O sistema de cores utilizado foi CIELAB, com leitura dos valores de L\* (luminosidade), a\* (índice de saturação verde-vermelho) e b\* (índice de saturação azul-amarelo). As medidas em cada amostra foram realizadas com seis repetições.

Em relação à solução desidratante, a cor, os sólidos solúveis totais, a atividade de água e o pH foram determinados em cada batelada.

As alterações de cor e turbidez da solução em cada batelada foram avaliadas por espectrofotometria em um espectrofotômetro marca Beckmann modelo DU70 (USA) com comprimento de onda de 278 nm. A amostra usada como referência padrão foi a solução de sacarose a 60°Brix antes da sua utilização.

#### 3.2.2.4. Cálculo dos coeficientes de transferência de massa

Quatro metades de goiaba de cada bandeja foram selecionadas para calcular as respostas de perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) usando as equações 3.3, 3.4 e 3.5, respectivamente. O ajuste das cinéticas e os coeficientes de transferência de massa foram calculados pelas equações 3.6 e 3.7 (AZUARA *et al.*, 1992) e a difusividade aparente pelo ajuste da solução analítica, baseada na lei de Fick, considerando a geometria de placa plana infinita, transferência de massa unidirecional, regime não estacionário, solução com concentração constante e resistência externa desprezível (equação 3.8) desenvolvida por CRANK (1975).

$$PP(\%) = 100 \times \left( \frac{m_i - m_t}{m_i} \right) \quad (3.3)$$

Onde:  $m_i$  e  $m_t$  são as massas totais do produto no tempo inicial e a um dado tempo  $t$ , respectivamente.

$$PA(\%) = 100 \times \left( \frac{m_i \cdot X_{bu_i} - m_t \cdot X_{bu_t}}{m_i \cdot X_{bu_i}} \right) \quad (3.4)$$

Onde:  $X_{bu}$  e  $X_{bu_t}$  são os teores de umidade do produto inicial e a um tempo  $t$ , em base úmida (%)

$$GS(\%) = 100 \times \left( \frac{ART_t - ART_i}{ART_i} \right) \quad (3.5)$$

Onde:  $ART_i$  e  $ART_t$ , são os teores de açúcares redutores totais do produto inicial e a um tempo  $t$

$$PA_t = \frac{S_1 t (PA_{eq})}{1 + S_1 t} \quad (3.6)$$

$$PP_t = \frac{S_1 t (PP_{eq})}{1 + S_1 t} \quad (3.7)$$

Onde:  $PA_t$  e  $PA_{eq}$  são a perda de água num dado tempo  $t$  e no equilíbrio (%),  $PP_t$  e  $PP_{eq}$  são a perda de peso num dado tempo  $t$  e no equilíbrio,  $t$  o tempo (s) e  $S_1$  o parâmetro de ajuste.

$$\frac{X_t - X_e}{X_i - X_e} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left[-D_{ef} (2n+1)^2 \frac{\pi^2 t}{4L^2}\right] \quad (3.8)$$

Onde:  $X_i$ ,  $X_t$  e  $X_e$  são o teor de umidade do produto inicial, em um dado tempo  $t$  e no equilíbrio,  $D_{ef}$  difusividade ( $m^2/s$ ) e  $L$  a espessura do produto (m).

Os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com 95% de nível de confiança no software Statistica versão 5.0.

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1. Escolha da matéria-prima

Dada à experiência prévia no assunto e à disponibilidade de dados de desidratação osmótica de goiaba em sistema batelada, coletados por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999), a goiaba foi escolhida, entre outras razões, por possuir textura firme e poder resistir a variações de fluxo sem danos mecânicos extremos. Além disso, a cor, o intenso aroma e o conteúdo apreciável de vitaminas facilitaram a avaliação das alterações de qualidade do produto com os diferentes tratamentos nos subseqüentes capítulos da tese.

Os cultivares de goiaba mais disponíveis encontrados na região são: "Paluma", "Cascuda" e "Sato". Estes cultivares foram caracterizados e

desidratados osmoticamente com o objetivo de definir o cultivar mais adequado. A escolha foi realizada considerando as características físicas, químicas, a quantidade de perda de água e ganho de solutos durante a desidratação e o grau de resistência ao dano mecânico.

Os resultados apresentados na Tabela 3.2 mostraram não haver diferença significativa entre as cultivares *Paluma* e *Cascuda* com relação ao teor de umidade (88,36 e 88,51%, respectivamente), porém foram menores que o do cultivar *Pedro Sato* (89,38%). No que se refere ao teor de acidez titulável e conteúdo de açúcares, a goiaba do cultivar *Paluma* apresentou maior teor de acidez titulável (0,42g/100g expressos em ácido cítrico) e menor conteúdo de açúcares totais (4,19%) que os demais cultivares. Entretanto, os valores de acidez titulável encontram-se suficientemente próximos daqueles encontrados por PEREIRA & MIGUEL, (1986) e SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999) dentro da faixa de 0,40 a 0,62g/100g, expressas em ácido cítrico, sendo que a diferença observada pode ser atribuída a diferentes graus de maturação ou condições climatológicas. Conseqüentemente devido ao teor de acidez maior, o pH do cultivar *Paluma* foi ligeiramente menor que dos outros cultivares estudados, no entanto, encontra-se próximo ao encontrado por TAVARES (1993) para o mesmo cultivar (3,76 e 3,90). TORREZAN *et al.* (1999) também obtiveram valores de pH em torno de 4,0, para o cultivar *Cascuda*. O alto conteúdo de açúcares, nos cultivares *Cascuda* e *Sato* pode ser atribuído ao aumento da atividade enzimática responsável pela hidrólise do amido e também pelo declínio na velocidade de quebra do açúcar durante a respiração da fruta (BASHIR & ABU-GOUKH, 2003).

O teor de sólidos solúveis de diferentes cultivares de goiaba, segundo Carvalho (1999), varia entre 5,72 e 17,76%. Assim, os valores encontrados neste estudo estão dentro do esperado.

A perda de peso, perda de água e ganho de solutos durante o tratamento osmótico a 60°Brix, 40°C e 3 horas de processo, condições estabelecidas em trabalho anteriores por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999)

mostraram que as cultivares *Cascuda* e *Paluma* não tiveram influência significativa ( $p < 0,05$ ) em nenhuma das respostas. Porém, a variedade *Sato*, cuja espessura da polpa (5 mm) foi menor que das outras variedades (8 a 12 mm), apresentou valores significativamente diferentes. Isto sugere que a estrutura celular do tecido nos cultivares é diferente e influencia no processo osmótico. O cultivar *Sato* perdeu mais água que os outros dois cultivares, porém houve amolecimento do tecido e perda da firmeza da fruta provavelmente devido à estrutura celular mais porosa e à espessura mais fina (LIMA *et al.*, 1999; LIMA & DURIGAN, 2000). Assim, considerando as respostas do tratamento osmótico, a espessura do pericarpo e a disponibilidade da fruta ao longo do ano, foi estabelecido trabalhar com a cultivar *Paluma*.

**TABELA 3.2.** – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DA GOIABA VERMELHA – CULTIVARES: PALUMA, CASCUDA E SATO.

Cultivar	Espessura do pericarpo (mm)	Umidade (%)	$A_w$	SS (°Brix)	ART (%)	AT	pH
<i>Paluma</i>	8-12	88,36 ± 1,3	0,990	7,85 ± 0,4	4,19 ± 1,9	0,61 ± 0,07	3,9 ± 0,5
<i>Cascuda</i>	8 – 10	88,51 ± 1,0	0,990	6,58 ± 0,2	6,86 ± 1,4	0,56 ± 0,01	4,0 ± 0,1
<i>Sato</i>	5 – 7	89,38 ± 1,0	0,992	7,72 ± 0,1	6,52 ± 1,6	0,51 ± 0,04	4,1 ± 0,3

ART: açúcares redutores totais,  $A_w$ : atividade de água, SS: sólidos solúveis, AT: acidez titulável expressos em g de ácido cítrico/100g.

### 3.3.2. Desidratação osmótica em tempo fixo

Com a finalidade de comparar a quantidade de perda de água e peso e ganho de solutos entre os sistemas batelada em béqueres e no desidratador semicontínuo com variação da vazão, foram realizados ensaios de desidratação osmótica por 3 horas com solução de sacarose (60°Brix) aquecida a 40°C e proporção fruta:solução de 1:10 conforme definidos por SANJINEZ ARGANDOÑA (1999) como condições mais satisfatórias para a desidratação osmótica de goiabas.

A Tabela 3.3 apresenta a perda de peso (PP), água (PA) e incorporação de solutos (GS) nas goiabas desidratadas em ambos sistemas.

No sistema semicontínuo com vazão de 77 kg/h, a perda de peso das goiabas não teve diferença significativa com relação aos outros tratamentos, porém, a perda de água e o ganho de sólidos diferiram significativamente, sugerindo que vazões mais elevadas favorecem o processo de desidratação. Entretanto, a análise estatística dos resultados obtidos para vazões de 540 e 773 kg/h mostrou não haver diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre os dois tratamentos. Porém, Mavroudis *et al.* (1998), observou maior perda de água na desidratação osmótica de maçãs em níveis de agitação mais altos, regidos pelo fluxo turbulento.

Para validar as hipóteses levantadas e devido à fluidodinâmica do sistema semicontínuo revelar a existência de um comportamento complexo, em virtude do estreitamento e ampliação das linhas de corrente na passagem do fluxo através das bandejas, optou-se por determinar cinéticas da desidratação em diferentes tempos.

**TABELA 3.3.** - PERDA DE PESO (PP), PERDA DE ÁGUA (PA) E GANHO DE SOLUTOS (GS) DE GOIABAS OSMODESIDRATADAS EM SISTEMA DE BANCADA (SB) E SEMICONTÍNUO (SSC) APÓS 3 HORAS DE PROCESSO.

Sistema	PP (%)	PA (%)	GS (%)
Batelada (Bequer)	26,47 ± 2,05 <sup>a</sup>	39,01 ± 3,55 <sup>a</sup>	11,50 ± 1,23 <sup>a</sup>
Semicontínuo (77 kg/h)	24,39 ± 1,04 <sup>a</sup>	29,57 ± 1,44 <sup>b</sup>	5,95 ± 1,22 <sup>b</sup>
Semicontínuo (540 kg/h)	26,44 ± 2,19 <sup>a</sup>	37,93 ± 1,06 <sup>a</sup>	11,53 ± 1,44 <sup>a</sup>
Semicontínuo (773 kg/h)	25,18 ± 0,42 <sup>a</sup>	37,64 ± 1,28 <sup>a</sup>	12,46 ± 1,35 <sup>a</sup>

Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5%

### 3.3.3. Desidratação osmótica em diferentes tempos

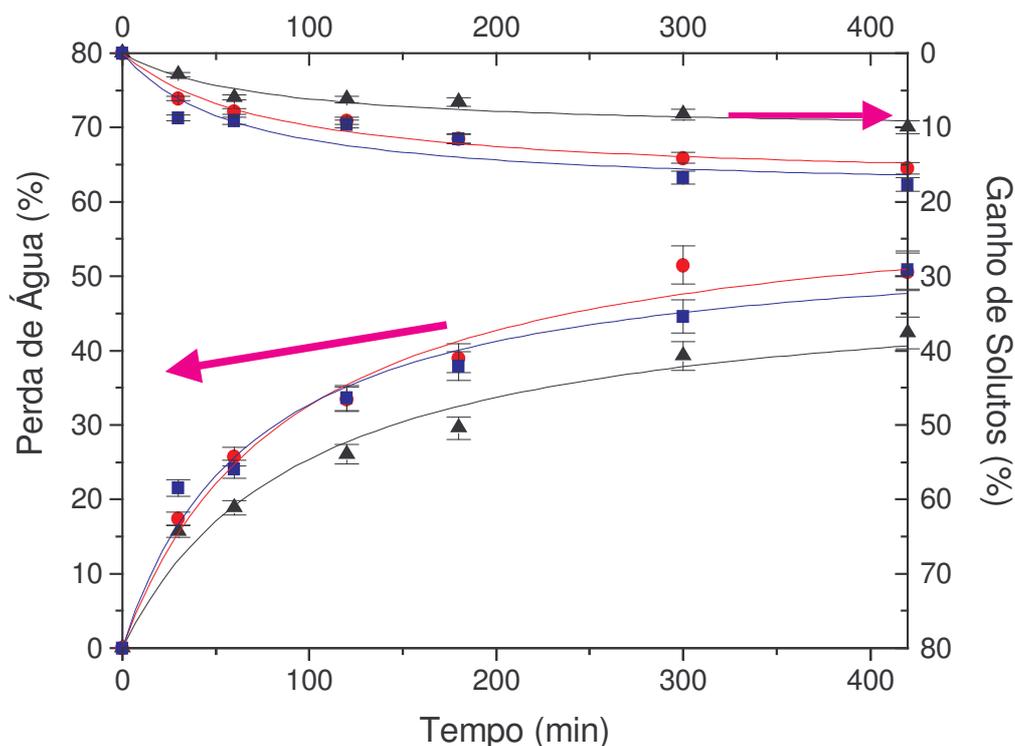
As cinéticas de desidratação em diferentes tempos foram realizadas no sistema semicontínuo tendo como variável independente a vazão mássica da solução de sacarose (77 e 540 kg/h). Os resultados de perda de peso, água e ganho de solutos foram comparados com os obtidos em trabalho anterior por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999) para o sistema batelada.

No sistema semicontínuo com vazões de 77kg/h e 540 kg/h, o fluxo na entrada do equipamento teve um comportamento laminar ( $N_{Re} = 10$  e 45), transição e turbulento na passagem pelas bandejas ( $N_{Re} = 3193$  e 22400), e novamente laminar quando restabelecido o fluxo (LEWIS, 1993). Neste caso, a área na entrada do tanque era  $3,2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$  e na passagem pelos furos das bandejas era  $1,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ . O tratamento em sistema de batelada foi realizado em regime transiente ( $N_{Re} = 680$ ), considerando o cálculo do número de Reynolds em sistemas agitados (LEWIS, 1993).

As Figuras 3.4. e 3.5. mostram as cinéticas de transferência de massa e de perda de peso para os sistemas semicontínuo com vazão de 77 kg/h (**SSC-77**) e 540 kg/h (**SSC-540**) e batelada (**SB**), nos três tratamentos se trabalharam com a mesma relação de fruta:solução (1:10).

A comparação dos resultados entre os tratamentos SSC-77 e SSC-540, mostrou que a vazão (540kg/h) com que a solução recircula pelo sistema influencia na transferência de massa. As goiabas desidratadas com vazão da solução de sacarose de 540 kg/h apresentaram maior perda de água e ganho de solutos em todos os tempos (Tabela 3.4). O tratamento estatístico constatou estas diferenças ao nível de 5%. Com relação à perda de peso, no início do processo (30 min) e após 180 minutos de tratamento não foram observadas diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre os resultados, isto nos leva a crer que o fenômeno de transferência de massa, independente da velocidade do fluxo, no sistema semicontínuo, acontece proporcionalmente entre a perda de água e a entrada de solutos no interior da fruta, dependendo exclusivamente das

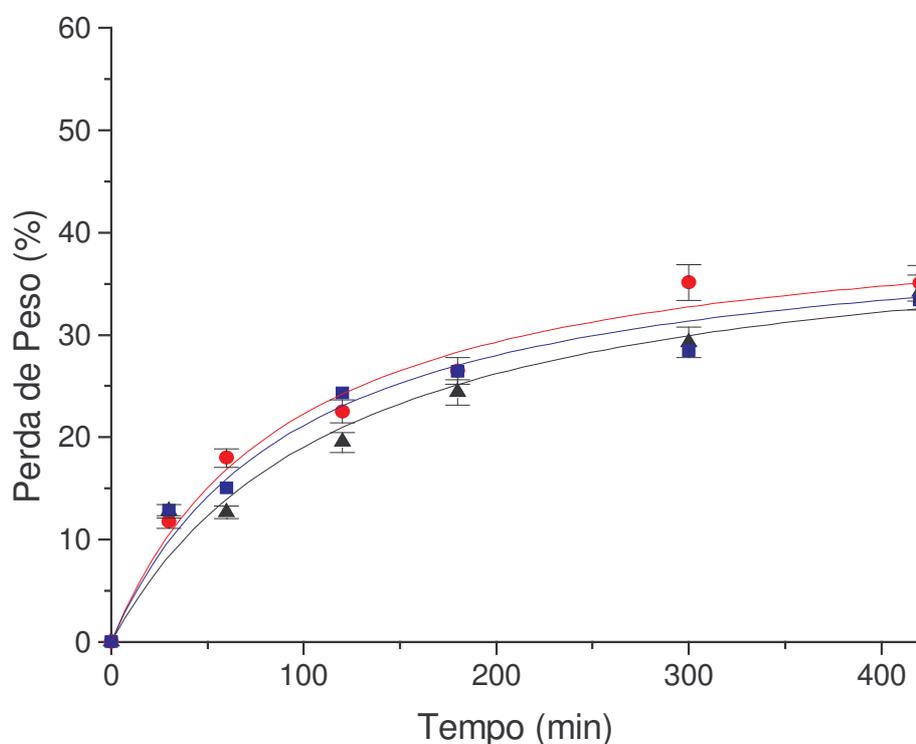
condições da estrutura celular e dos mecanismos de transferência internos do fruto.



**Figura 3.4.** - Cinéticas de perda de água e ganho de solutos na desidratação osmótica de goiabas no sistema semicontínuo com vazões de fluxo de 77kg/h (▲), 540 kg/h (■) e no sistema bancada (●).

Os resultados obtidos com vazão de 540 kg/h apresentaram valores de perda de água, ganho de solutos e perda de peso similares aos obtidos no sistema de bancada, não havendo diferenças significativas entre eles, com exceção dos dados obtidos no tempo de 30 minutos. No início do processo osmótico (30 min), a perda de água e o ganho de solutos foram maiores no sistema semicontínuo apresentando valores de perda de água de 21,53 e 17,38% e ganho de solutos de 8,68 e 6,11% para o SSC-540 e SB, respectivamente, provavelmente devido à recirculação da solução de sacarose.

No sistema semicontínuo, a solução tem que vencer o leito fixo de goiabas para recircular, evitando desta maneira a formação de película superficial de solução ao redor da fruta, que impedem a transferência de massa. No sistema de bancada, a formação de película ao redor da fruta parece não ser evitada no início do processo osmótico. Só com o tempo e sob agitação constante é que se consegue eliminar esta formação, pois neste caso, a fruta e a solução giram no mesmo sentido radial.



**Figura 3.5.** - Cinéticas de perda de peso na desidratação osmótica de goiabas no sistema semicontínuo com vazões de fluxo de 77kg/h (▲) e 540 kg/h (■) e no sistema bancada (●).

A velocidade de agitação aplicada ao sistema de batelada fornece um regime transiente (maior que 2 e menor que  $10^4$  para sistemas com agitação); no sistema semicontínuo, para ambas vazões, o comportamento foi laminar na

entrada e na saída da solução do desidratador e turbulento na passagem da solução entre as peneiras. A análise comparativa entre ambos sistemas pressupõe que vazões maiores apresentando regime turbulento favoreceriam a transferência de massa (MAVROUDIS *et al.*, 1998). Assim, para avaliar o efeito do Re aumentou-se a vazão para 773 kg/h, porém houve danos irreversíveis no tecido celular da fruta, comprometendo a textura e conseqüentemente a seletividade à transferência de massa com o meio. Já nos tratamentos com vazão de 540 kg/h foram observados o desprendimento de partículas da fruta e o escurecimento da solução, provavelmente devido ao comprometimento da estrutura celular da fruta ocasionada pela vazão. Uma microscopia do tecido celular seria necessária para corroborar essa hipótese.

**TABELA 3.4.** - COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA (ANOVA) DA PERDA DE PESO, PERDA DE ÁGUA E GANHO DE SÓLIDOS ENTRE OS DIFERENTES TEMPOS DE PROCESSO.

Tempo (min)	Perda de Peso (%)			Perda de Água (%)			Ganho de Solutos (%)		
	SB	SSC-77	SSC-540	SB	SSC-77	SSC-540	SB	SSC-77	SSC-540
30	11,72 <sup>a</sup>	12,77 <sup>a</sup>	12,86 <sup>a</sup>	17,38 <sup>a</sup>	15,66 <sup>a</sup>	21,53 <sup>b</sup>	6,1 <sup>a</sup>	2,89 <sup>b</sup>	8,68 <sup>c</sup>
60	17,96 <sup>a</sup>	12,65 <sup>b</sup>	15,00 <sup>a</sup>	25,74 <sup>a</sup>	18,87 <sup>b</sup>	24,19 <sup>a</sup>	7,8 <sup>a</sup>	5,95 <sup>a</sup>	9,08 <sup>a</sup>
120	22,51 <sup>ab</sup>	19,50 <sup>b</sup>	24,32 <sup>a</sup>	33,46	26,04 <sup>b</sup>	33,62	9,1 <sup>a</sup>	6,22 <sup>b</sup>	9,54 <sup>a</sup>
180	26,47 <sup>a</sup>	24,39 <sup>a</sup>	26,44 <sup>a</sup>	39,01 <sup>a</sup>	29,57 <sup>b</sup>	37,93 <sup>a</sup>	11,5 <sup>a</sup>	6,57 <sup>b</sup>	11,13 <sup>a</sup>
300	35,13 <sup>a</sup>	29,27 <sup>b</sup>	28,43 <sup>b</sup>	51,49 <sup>a</sup>	39,26 <sup>b</sup>	44,57 <sup>c</sup>	14,1 <sup>a</sup>	8,27 <sup>b</sup>	16,75 <sup>c</sup>
420	35,04 <sup>a</sup>	34,15 <sup>a</sup>	33,35 <sup>a</sup>	50,56 <sup>a</sup>	42,38 <sup>b</sup>	50,86 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>	9,99 <sup>b</sup>	17,68 <sup>a</sup>

Médias mostrando letras iguais dentro de uma mesma linha para uma mesma variável, não diferem significativamente entre si a  $p < 0,05$ .

Os efeitos dos regimes laminar e turbulento na transferência de massa durante desidratação osmótica de maçãs foram estudados por MAVROUDIS *et al.* (1998). Os ensaios foram realizados em béqueres com solução de sacarose 50% a 20°C variando a agitação radial determinados em função do número de Reynolds de 350 a 18.500. Os autores observaram que a perda de água foi

maior em regime turbulento do que em regime laminar, porém o ganho de solutos não mostrou diferenças significativas entre os dois regimes. A explicação relatada é que a perda de água se dá por difusão sendo limitada pelo transporte apoplasmático. No caso do ingresso da sacarose, esta passa através da membrana celular por transporte ativo e somente após ocorrer algum dano no tecido, a entrada da sacarose pode-se dar por transporte passivo. Isto explicaria os resultados de ganho de solutos a diferentes vazões conforme mostrados na Tabela 3.3.

No tempo de 180 minutos, sugerido como melhor condição de processo por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999) não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na perda de peso entre os tratamentos **SSC-77**, **SSC-540** e **SB**, no entanto a perda de água e ganho de solutos foi maior nos dois últimos sistemas, tal como apresentado na seção 3.3.2. Os valores de perda de água obtidos foram 29,6% para SSC-77, 37% para SSC-540 e 39% para SB. Após 120 minutos, as perdas de água e peso e o ganho de solutos foram significativamente diferentes entre o sistema SSC-77 e os sistemas SSC-540 e SB, porém, entre esses últimos não houve diferença significativa, apresentando perda de água em torno de 33 a 34% e incremento de sólidos de 9 a 9,5%. Para efeito de economia do processo e considerando a pouca variação dos resultados entre 120 e 180 minutos, definiu-se como condição posterior de trabalho, o tempo de 120 minutos e a vazão de 540 kg/h para o tratamento osmótico em sistema semicontínuo.

Com os resultados obtidos nas cinéticas, foram calculados os coeficientes de transferência de massa para os tratamentos em sistema semicontínuo (SSC-77 e SSC-540), e comparados com os obtidos em sistema batelada (SB). A aplicação dos modelos matemáticos de difusividade aos parâmetros cinéticos de perda de água dos tratamentos SSC-540 e SB apresentou um ajuste similar para ambos os tratamentos e os valores obtidos não foram significativamente diferentes entre si, apesar das diferenças de escoamento e fluxo entre os tratamentos. Com relação aos tratamentos em sistema semicontínuo com variação da vazão mássica (77 e 540 kg/h) houve

diferença significativa entre eles, constatando que o aumento da mesma influenciou na transferência de massa até uma determinada vazão, neste caso 540 kg/h (Tabela 3.5.), favorecendo a maior saída de água da fruta para o meio.

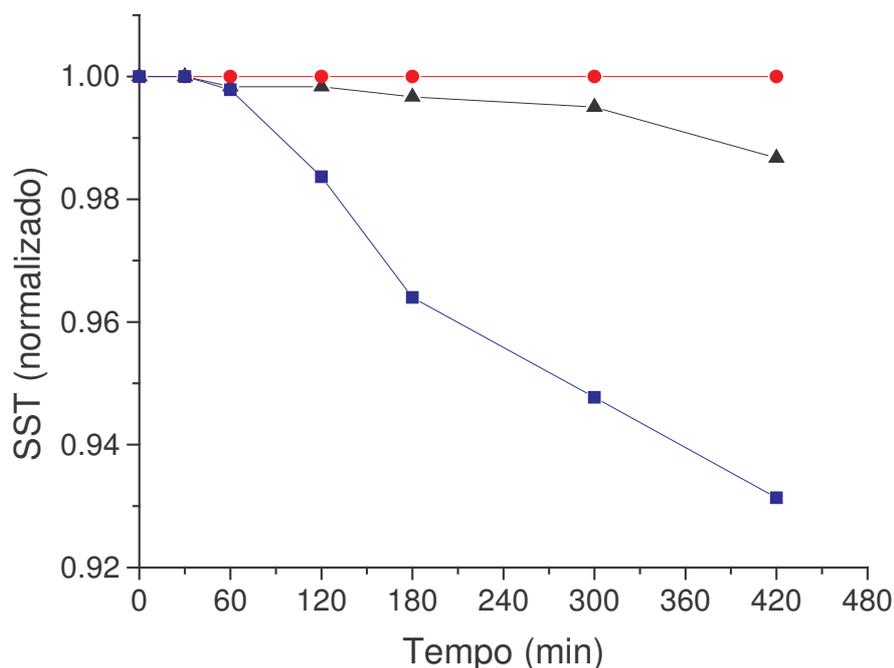
**TABELA 3.5.** - VALORES OBTIDOS DOS MODELOS DE AZUARA E DO COEFICIENTE DE DIFUSIVIDADE APARENTE PARA DIFERENTES TRATAMENTOS.

Tratamento	$S_t$ ( $s^{-1}$ )	$PA_{eq}$ (%)	$R^2$	$D_{ef}$ $10^{11}(m^2/s)$	$R^2$
SB	0,015	62,84	0,99	2,86	0,95
SSC-77	0,010	50,85	0,98	1,95	0,89
SSC-540	0,011	55,34	0,98	2,66	0,90

$S_t$ , parâmetro de ajuste do modelo;  $PA_{eq}$ , perda de água no equilíbrio;  $R^2$ , coeficiente de correlação e  $D_{ef}$ , difusividade da água.

Como a solução de sacarose foi reaproveitada no estudo da cinética no sistema semicontínuo, a variação do teor de sólidos solúveis totais da solução ( $^{\circ}$ Brix) foi monitorada a cada cinética. A concentração da solução não foi corrigida nestes tratamentos. Após 420 min de processamento o teor de sólidos solúveis totais diminuiu no processo com vazão de 77 kg/h (SSC-77) de 60 ( $\pm 0,2$ ) para 59,4 $^{\circ}$ Brix, e no de 540 kg/h (SSC-540) de 60 ( $\pm 1$ ) para 57 $^{\circ}$ Brix. Assim, o aumento da vazão no sistema implicou na diminuição dos sólidos solúveis da solução devido à maior perda de água e ganho de solutos na fruta (Tabela 3.4). Entretanto, a variação do conteúdo de sólidos solúveis na solução, não teve influência significativa nos resultados de transferência de massa.

Na Figura 3.6 são mostrados os dados normalizados do teor de sólidos solúveis, das cinéticas analisadas, em função da concentração inicial da solução (60  $\pm 0,5^{\circ}$ Brix).

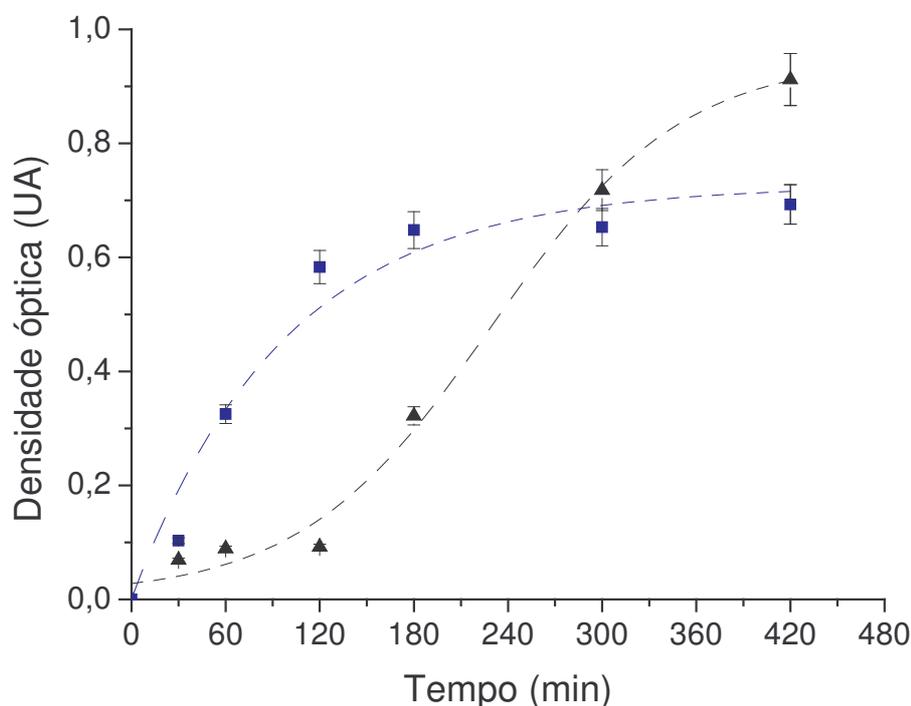


**Figura 3.6.** - Cinética da variação do °Brix ao longo do tempo. Sistema de batelada-BS (●), Sistemas SSC-540 (■) e SSC-77 (▲).

### 3.3.4. Avaliação da cor na solução desidratante

A solução de sacarose reutilizada após cada cinética foi analisada através do índice de absorvância para avaliar o grau de escurecimento. A amostra de referência para as leituras da absorvância foi a solução de sacarose a 60°Brix. Assim foi tomada como base a absorvância máxima e o comprimento de onda, obtidos para a solução padrão de sacarose, sendo estes 1,2 de densidade óptica e 278 nm de comprimento de onda. O equipamento foi então padronizado com esta solução.

A Figura 3.7 mostra o grau de absorvância da solução de sacarose com a reutilização para as vazões estudadas.



**Figura 3.7.** - Grau de Absorbância da solução de sacarose ao longo do tempo. Vazão mássica de 540 kg/h (■) e 77 kg/h (▲).

No processamento com vazão de 540kg/h, a absorvância da solução aumentou linearmente até 120 min e mostrou tendência à estabilização do valor após 300 min de processo. Com vazão de 77kg/h o comportamento foi um pouco diferente, pois a densidade óptica se manteve constante e com baixos valores até aproximadamente 120 min, quando passou a aumentar e após 420 min mostrou igual escurecimento que a processada em 540 kg/h (Figura 3.7). O escurecimento da solução pode ser atribuído à lixiviação de alguns pigmentos que foram acionados durante o corte das frutas, através de reações enzimáticas (VALDEZ-FRAGOSO *et al.*, 2002). No entanto, CHEFTEL & CHEFTEL (1986) indicam que é pouco provável o escurecimento enzimático durante a desidratação osmótica devido à presença de ácidos da fruta, especialmente do ácido málico que atua como um inibidor das reações enzimáticas. Assim, a possibilidade de caramelização da solução com o tempo

e a temperatura parece justificar o escurecimento da solução. Por outro lado, vazões mais elevadas favorecem ao desprendimento de partículas do tecido vegetal, interferindo na leitura da absorvância e no comprometimento da textura do produto. Para validar esta suposição foram realizadas determinações de cor e de textura nos produtos obtidos.

### 3.3.5. Avaliação de Cor nas goiabas

Foram analisados os parâmetros de croma ( $a^*$ ,  $b^*$ ) e luminosidade ( $L^*$ ) em função do tempo de processo somente na parte interna das goiabas em base aos resultados obtidos por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999), em que a cor da parte interna foi utilizada para caracterizar a fruta. Os valores médios obtidos nos diferentes tratamentos foram comparados estatisticamente entre si e com a fruta *in natura* pela análise de variância e o teste de Tuckey.

Na Tabela 3.6 observa-se que o parâmetro de luminosidade  $L^*$ , relacionado à claridade ou brilho da amostra, teve aumento significativo ( $p < 0,05$ ) em relação à fruta fresca quando submetida aos tratamentos analisados (SSC-77 e SSC-540). Porém, os valores obtidos com o tempo, no geral, não diferiram significativamente entre si. O aumento da luminosidade era esperado devido à impregnação do xarope ao redor da fruta proporcionando um brilho mais acentuado. Em um estudo sobre morangos submetidos à desidratação osmótica, MORENO *et al.* (2000), também observaram um pequeno aumento no parâmetro  $L^*$  em relação a fruta *in natura*, mas esses valores não diferiram significativamente entre eles.

Já BARONI (2004), na desidratação osmótica de tomates em soluções de sacarose, NaCl, e sacarose/ NaCl observou que a luminosidade diminuiu com o tratamento osmótico em todas as soluções, principalmente na parte interna do fruto, atribuída a oxidação pelo ar, e na externa, a preservação da luminosidade natural foi maior pela proteção da casca. Entretanto, a cor vermelha do fruto aumentou com o tratamento como resultado da concentração do licopeno.

**TABELA 3.6.** - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE PROCESSAMENTO PARA CADA TRATAMENTO -PARÂMETRO L\*.

Tratamento	In natura	Parte interna da fruta - tempo (min)					
		30	60	120	180	300	420
<b>SSC-77</b>	25,20 <sup>a</sup>	30,04 <sup>bc</sup>	31,50 <sup>b</sup>	29,09 <sup>bc</sup>	28,02 <sup>bc</sup>	27,51 <sup>ac</sup>	31,56 <sup>b</sup>
<b>SSC-540</b>	22,57 <sup>a</sup>	26,30 <sup>bcd</sup>	25,89 <sup>bd</sup>	29,20 <sup>bc</sup>	26,75 <sup>bcd</sup>	28,77 <sup>bc</sup>	25,48 <sup>bd</sup>

Médias mostrando letras iguais dentro de uma mesma linha, não diferem significativamente entre si a  $p < 0,05$ .

A intensidade da cor vermelha ( $a^*$ ) é mostrada na Tabela 3.7. O incremento da vazão (tratamento **SSC-540**), não levou a modificações significativamente estatísticas quando comparados a maiores vazões e à fruta *in natura*.

**TABELA 3.7.** - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE PROCESSAMENTO PARA CADA TRATAMENTO -PARÂMETRO  $a^*$ 

Tratamento	In natura	Parte interna da fruta - tempo (min)					
		30	60	120	180	300	420
<b>SSC-77</b>	18,9 <sup>a</sup>	19,95 <sup>a</sup>	20,24 <sup>a</sup>	16,46 <sup>a</sup>	18,48 <sup>a</sup>	19,15 <sup>a</sup>	23,25 <sup>b</sup>
<b>SSC-540</b>	17,02 <sup>a</sup>	18,81 <sup>a</sup>	18,35 <sup>a</sup>	20,21 <sup>a</sup>	20,24 <sup>a</sup>	18,34 <sup>a</sup>	17,04 <sup>a</sup>

Médias mostrando letras iguais dentro de uma mesma linha, não diferem significativamente entre si a  $p < 0,05$ .

As eventuais alterações observadas podem ser atribuídas à falta de uniformidade no grau de maturação das frutas, captada pela sensibilidade do espectrofotômetro. Efeitos semelhantes foram observados por outros pesquisadores em diferentes produtos submetidos à desidratação osmótica, (VIAL *et al.*, 1991; KROKIDA *et al.*, 2000a,b).

Os valores de  $b^*$ , relacionados com a cor amarela, tiveram uma ligeira diminuição com o tempo no tratamento com vazão de 77kg/h (SSC77). Este comportamento pode estar relacionado ao incremento de solutos na fruta e ao escurecimento da solução com o tempo (Tabela 3.8). Porém, nas amostras

submetidas ao tratamento **SSC-540**, não houve diferença significativa entre os resultados obtidos a diferentes tempos e entre a fruta fresca.

**TABELA 3.8.** - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE PROCESSAMENTO PARA CADA TRATAMENTO PARÂMETRO **b\*** .

Tratamento	In natura	Parte interna da fruta - tempo (min)					
		30	60	120	180	300	420
<b>SSC-77</b>	9,28 <sup>ab</sup>	10,22 <sup>a</sup>	10,05 <sup>a</sup>	8,30 <sup>b</sup>	8,52 <sup>b</sup>	8,62 <sup>b</sup>	7,87 <sup>b</sup>
<b>SSC-540</b>	7,54 <sup>ab</sup>	7,96 <sup>ab</sup>	7,77 <sup>ab</sup>	8,69 <sup>b</sup>	8,07 <sup>ab</sup>	8,72 <sup>b</sup>	7,96 <sup>ab</sup>

Médias mostrando letras iguais dentro de uma mesma linha, não diferem significativamente entre si  $p < 0,05$ .

Do exposto, foi possível concluir que as amostras obtidas das cinéticas a diferentes vazões com reaproveitamento da solução de sacarose, não apresentaram grandes variações na coloração da fruta.

A comparação dos resultados obtidos no sistema semicontínuo (**SSC-77 e SSC-540**) com os do sistema em batelada (**SB**) para a melhor condição de desidratação osmótica de goiabas determinada por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999) é mostrada na Tabela 3.9. Os valores encontrados são semelhantes entre si e não diferem estatisticamente com exceção dos valores obtidos para a luminosidade nos sistemas semicontínuos, apresentando valores significativamente mais elevados que os da fruta fresca, porém, equivalentes entre si. Como discutido anteriormente, o aumento da luminosidade encontra-se relacionado à deposição do xarope na fruta conferindo maior intensidade de brilho na fruta.

Diante do exposto, considerando a avaliação das alterações de cor junto com as cinéticas de perdas de peso e água entre os obtidos no sistema batelada (tidos como base para o estudo), e os alcançados no sistema semicontínuo, leva a concluir como condição de processo para o sistema semicontínuo a vazão mássica de 540 kg/h.

**TABELA 3.9.** - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR ENTRE OS TRATAMENTOS NO SISTEMA SEMICONTÍNUO (**SSC A 77KG/H E SSC A 540KG/H**) COM O TRATAMENTO NO SISTEMA DE BATELADA (**SB**) APÓS 180 MIN.

Parâmetro	<i>In natura</i> SSC	SSC-70	SSC-540	SB
<b>L*</b>	23.99 <sup>a</sup>	28.02 <sup>c</sup>	26.75 <sup>c</sup>	23,08 <sup>a</sup>
<b>a*</b>	19.44 <sup>a</sup>	18.48 <sup>a</sup>	20.24 <sup>a</sup>	18,75 <sup>a</sup>
<b>b*</b>	8.61 <sup>a</sup>	8.52 <sup>a</sup>	8.07 <sup>a</sup>	7,62 <sup>a</sup>

Médias mostrando letras iguais dentro de uma mesma linha, não diferem significativamente entre si a  $p < 0,05$ .

### 3.4. CONCLUSÕES

O sistema semicontínuo com vazão de 540 kg/h mostrou resultados similares de perda de água, peso e ganho de solutos aos obtidos no sistema batelada, apresentando coeficientes de difusividade semelhantes ( $2,66 \times 10^{-11}$  e  $2,86 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectivamente). A reutilização da solução de sacarose, no sistema semicontínuo por cinco vezes, não influenciou na transferência de massa.

A fluidodinâmica do sistema semicontínuo de desidratação osmótica com recirculação da solução revelou a existência do seguinte sistema de escoamento: laminar na entrada e saída do equipamento e turbulento na passagem pelas peneiras. Esta variação de regimes de escoamento pode ter aumentado a eficiência do processo semicontínuo. A coloração vermelha, característica da fruta, manteve-se praticamente inalterada nos tratamentos realizados no sistema semicontínuo.

### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS (AOAC), 1996. Cap. 37 – Fruits and Fruit products- **Association of Official Analytical Chemists**, 17 th ed., Arlington, Virginia, U.S.A. 1298 p.

- AZUARA, E.; BERISTAIN, C.I. e GARCIA, H.S. Development of a Mathematical Model to Predict Kinetics of Osmotic Dehydration. **Journal of Food Science and Technology**, v.29, n.4, p. 239-242, 1992.
- BARONI, A.F. 2004. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. Campinas, SP. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos
- BASHIR, H.A. & ABU-GOUKH. Compositional changes during guava fruit ripening. **Food Chemistry**, n.80, p.557-563, 2003
- CARVALHO, H.A. **Utilização de atmosfera modificada na conservação pós-colheita da goiaba 'Kumagai'**. Lavras, 1999, 115p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Lavras.
- CHEFTEL, J.C. e CHEFTEL, H. Introducción a la bioquímica e a la tecnología de los alimentos. Espanha: Ed. Acribia, 1986.
- CRANK, J. **Mathematics of Diffusion**. 2<sup>a</sup> ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414p.
- DALLA ROSA, M. e GIROUX, F. Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.223-236, 2001.
- KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T. e MAROULIS, Z.B. Effect of Osmotic Dehydration on Color and Sorption Characteristics of Apple and Banana. **Drying Technology**, v.18, p.937-950, 2000a.
- KROKIDA, M. K.; KIRANOUDIS, Z. B.; MAROULIS, Z. B. e MARINOS-KOURIS, D. Effect of Pretreatment on Color of Dehydrated Products. **Drying Technology**, v.18, p.1239-1250, 2000b.
- LEWICKI, P.P. e LUKASZUK, A. Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. **Journal of Food Engineering**, v.45, p.119-126, 2000.
- LEWIS, M.J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de processado**. Editorial Acribia, Zaragoza, España, 1993.
- LIMA, M.A. e DURIGAN, J.F. Conservação de Goiabas “Pedro Sato” Associando-se Refrigeração com Diferentes Embalagens Plásticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.22, n.2, p.232-236, 2000.
- LIMA, M.A.; DURIGAN, J.F.; PEREIRA, F.M. e FERRAUDO, AS. Caracterização Físico-química dos Frutos de 19 Genótipos de Goiabeira, Obtidos na FCAV-UNESP. **Revista Brasileira de Agropecuária**, p.252-257, 1999.
- MAROUZÉ, C.; GIROUX, F.; COLLIGNAN, A. e RIVIER, M. Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.207-221, 2001.

- MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V. e SJÖHOLM, I. Osmotic Dehydration of Apples- Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.191–209, 1998.
- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE I. e SERRA, J.A. Effect of Blanching/Osmotic Dehydration Combined Methods on Quality and Stability of Minimally Processed Strawberries. **Food Research International**, v.33, p.609-616, 2000.
- NONO, Y.J.; GIROUX, F.; CUQ, B. e RAOULT-WACK, A.L. Etude des paramètres de contrôle et de commande du procédé de déshydratation-impregnation par immersion, sur système probatoire automatisé : application au traitement des pommes Golden. **Journal of Food Engineering**, v.50, p.203-210, 2001.
- PEREIRA, F.M. e MIGUEL JR., M. **Goiabas para industrialização**. Ed. UNESP. Jaboticabal, 1986.
- QI, H.; LEMAGUER, M.; SHARMA, S.K. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. **Journal of Food Process Engineering**, v.21, p.75-88, 1998.
- RANGANNA, S. **Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products**. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1978, 634p.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J. **Desidratação de Goiaba (Psidium guajava L.) por imersão e Secagem**. Campinas, 1999. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.
- SHI J.; MAGUER, M. L.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A. e NIEKAMP. F. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. **Food Research International**, v.32, p.15-21, 1999.
- TAVARES, J.C. **Efeitos da refrigeração, cera, fungicida e cálcio na conservação pós-colheita da goiaba "Paluma" (Psidium Guajava L.)**. Jaboticabal:,1993, 93p. Tese (Doutorado em Agronomia) UNESP.
- TORREZAN, R.; JARDINE, J. G. e VITALI, A.A. Efeito da adição de solutos e ácidos em polpa de goiaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, p.43-45, 1999.
- VALDEZ-FRAGOSO, A. e MUJICA-PAZ, H. Reuse of sucrose syrup in pilot-scale osmotic dehydration of apple cubes. **Journal of Food Process Engineering** v.25, n.3, p.125-139, 2002.
- VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Pilot plant for osmotic dehydration of fruitsÇ Design and evaluation. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.189-199, 2002.
- VIAL, C.; GUILBERT, S. e CUQ , J.L. Osmotic Dehydration of Kiwi Fruits: Influence of Process Variables on the Color and Ascorbic Acid content. **Science des Aliments**, v.11, n.1, p.63-84, 1991.

## **CAPITULO IV - REAPROVEITAMENTO DA SOLUÇÃO DESIDRATANTE NO SISTEMA OSMÓTICO SEMICONTÍNUO**

### **RESUMO**

A viabilidade econômica da desidratação osmótica depende, em parte, da possibilidade de reutilização da solução desidratante. Apesar da diluição da solução, durante o processo osmótico, alguns componentes naturais hidrossolúveis das frutas, tais como vitaminas e minerais, enriquecem a solução, mas, por outro lado, o reaproveitamento sucessivo pode mudar as características do produto final obtido. Neste capítulo, foram estudadas as mudanças no teor de sólidos solúveis, atividade de água, pH, acidez e turbidez na solução de sacarose usada na desidratação de goiabas em função da relação fruta:solução (1:10, 1:5 e 1:3) e do número de reutilizações (até 20). A análise microbiológica da solução e as propriedades da fruta osmodesidratada também foram estudadas. Os resultados mostraram que as sucessivas reutilizações modificaram as propriedades da solução e aumentaram a carga microbiana a níveis abaixo dos permitidos pela legislação. Entretanto, essas mudanças não comprometeram a transferência de massa do processo osmótico, nem a qualidade do produto, mostrando que é possível reutilizar a solução por até 20 vezes nas proporções de fruta solução 1:10 e 1:5 e até 17 vezes na proporção 1:3.

## 4.1. INTRODUÇÃO

Numerosos estudos sobre desidratação osmótica vêm sendo realizados ao longo dos últimos anos e importantes avanços têm sido alcançados no conhecimento do efeito dos parâmetros de processo sobre a transferência de massa, sua influência na redução do consumo de energia quando associada a outras técnicas de conservação como a secagem e a refrigeração e, especialmente na obtenção de produtos com melhor qualidade comparados com os produtos obtidos por métodos tradicionais (PONTING *et al.*, 1966; ERLE & SCHUBERT, 2001; MAESTRELLI *et al.*, 2001; VALENCIA-RODRIGUES *et al.*, 2003). Muitos pesquisadores recomendam que as características organolépticas de cor, sabor e textura de frutas e vegetais desidratados, podem ser melhor preservados pelo tratamento osmótico (KROKIDA *et al.*, 2000; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001; VALENCIA-RODRIGUEZ *et al.*, 2003, entre outros). Entretanto, a aplicação da desidratação osmótica em larga escala tem sido limitada devido à necessidade de elevadas quantidades de solução desidratante, além das prováveis contaminações ao meio ambiente pelo descarte de soluções residuais com alto conteúdo de compostos orgânicos (DALLA ROSA & GIROUX, 2001; MAROUZÉ *et al.*, 2001).

O reaproveitamento da solução apresenta-se como uma alternativa promissora para viabilizar o processo. A eficiência do processo de desidratação osmótica pode ser associada a relações de fruta/solução mais estreitas (1:5, 1:3) ou à reconcentração da solução desidratante, possibilitando um processo mais econômico, além de minimizar o descarte excessivo de solução residual. No entanto, há necessidade de mais estudos que avaliem as alterações do xarope com a reutilização e sua influência no produto desidratado (SPIESS & BEHSNILIAN, 1998). A cor escura, a quantidade de açúcares invertidos, a elevada viscosidade do xarope e o alto conteúdo de fibras provenientes dos tecidos da fruta, são algumas das características físicas e químicas da solução desidratante ao final do processo que podem impedir ou limitar a sua reutilização (MASTROCOLA *et al.*, 1998; VALDEZ-FRAGOSO & MUJICA-PAZ, 2002). Neste sentido, BOLIN *et al.* (1983) na desidratação osmótica de maçãs com solução de

---

sacarose a 70°Brix aquecida a 70°C, observou o escurecimento do xarope e o aumento da acidez, bem como a hidrólise parcial da sacarose com o reuso da solução em 5 bateladas. TOMASICCHIO *et al.* (1986), reutilizaram por 4 vezes uma mistura de xaropes a 60°Brix constituída de 42% frutose, 52% dextrose, 3% maltose, e 3% polissacarídeos, na desidratação de frutas, e observaram que a reutilização do xarope provocou uma importante perda de solutos. Em outro estudo, foi mostrado que a reconcentração da solução pela adição de açúcar e o seu reaproveitamento em 9 bateladas consecutivas de processo, não comprometeu os parâmetros de transferência de massa da desidratação osmótica de maçãs (GIROUX, 1992).

A reconcentração da solução ao longo do reaproveitamento tem sido comumente feita com a adição do soluto desidratante (GIROUX, 1992; VALDEZ-FRAGOSO *et al.*, 2002). Para níveis industriais, como descrito por DALLA-ROSA & GIROUX (2001), podem ser utilizados evaporadores que restabeleçam a concentração inicial da solução, tendo como fator limitante a contaminação microbiológica. MOREIRA (1971) no processamento de maçãs observou que a alta pressão osmótica dificultou o crescimento de microrganismos no xarope de sacarose. ARGAIS *et al.* (1994) demonstraram que o xarope usado na desidratação osmótica de abacaxi, mamão e pêra pode ser reaproveitado de 4 a 7 vezes, dependendo mais da qualidade microbiológica do soluto desidratante do que da eficiência do processo. Mais recentemente, VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (1998) e VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (2002), desidrataram cubos de maçã em um sistema semicontínuo por 20 bateladas, com xarope de sacarose reutilizado e reconcentrado, e constataram que a transferência de massa e a cor da fruta não foram afetadas pelo reuso da solução. No entanto, observaram o aumento da carga microbiana no xarope. O crescimento de bolores e leveduras foi minimizado através da filtração da solução e embora houvesse um aumento da carga microbiana na solução osmótica reusada e filtrada, a mesma foi relativamente baixa após os 20 tratamentos quando comparados com a quantidade de microrganismos necessários para o estágio inicial de um processo de fermentação ( $5 \times 10^4$  a  $1 \times 10^5$  UFC/mL).

O crescimento microbiano pode também ser minimizado pela diminuição do pH do meio (inibindo bactérias patogênicas), pela redução da atividade de água (o crescimento das bactérias patogênicas se dá principalmente a atividades de água maiores que 0,90), ou pela esterilização da solução. ALZAMORA *et al.* (1997) e GIANOTTI *et al.* (2001) indicam que o acúmulo de solutos no meio interfere no crescimento e na velocidade de multiplicação dos microrganismos e considerando-se que a solução desidratante apresenta um alto teor de solutos, a própria solução inibiria o crescimento microbiano. No entanto, sabe-se que certos microrganismos são particularmente tolerantes a altas concentrações de sacarose (osmofílicos) e sua presença pode causar numerosos problemas nos setores onde se manipulam grandes quantidades de açúcar (GARCÍA-MARTÍNEZ *et al.*, 2002), como é o caso do processamento osmótico com solução de açúcares, sendo necessária sua avaliação.

Outro aspecto não menos importante a ser considerado no reaproveitamento da solução é sua influência nos atributos de qualidade tais como aparência, sabor e textura, os quais poderão ser afetados pelos componentes insolúveis e pelas partículas da fruta desprendidas e acumuladas durante os ciclos de reaproveitamento da solução. As mudanças de cor e a turbidez da solução com o reaproveitamento podem limitar o número de reutilizações ocasionando problemas de contaminação microbiana e aceitação sensorial nos produtos obtidos (VALDEZ-FRAGOSO *et al.*, 1999, GARCÍA-MARTÍNEZ *et al.*, 2002).

Sensorialmente, a desidratação osmótica pode melhorar o sabor da fruta devido à incorporação de açúcares na fruta durante o processo, fornecendo um produto mais doce e menos ácido conforme, observados por SOUSA *et al.* (2003) e ALLAEDDINI & DJOMEH (2004) em kiwi e goiaba, respectivamente. Porém, não foram encontrados na literatura estudos que avaliem a influência do reaproveitamento da solução na aceitação do produto.

Neste sentido, o objetivo deste capítulo foi analisar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas da solução desidratante em função da relação fruta:solução (1:10, 1:5 e 1:3) e do número de reutilizações (até 20). Além disso, a

influência do reaproveitamento da solução nos atributos de qualidade do produto osmodesidratado, também foi avaliada.

## **4.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1. Material**

Seis lotes contendo 10 kg de goiabas da variedade vermelha '*Paluma*' foram adquiridos no centro de abastecimento de Campinas (CEASA)/SP para o desenvolvimento deste trabalho. De cada lote foram escolhidos 6 kg de goiabas, conforme o tamanho e grau de maturação (coloração externa amarela), selecionadas por observação visual. As goiabas foram embaladas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração à temperatura de 10°C até antes do processamento. As frutas antes de serem processadas, foram colocadas à temperatura ambiente por 12 h, sendo descascadas quimicamente por imersão conforme descrito no capítulo III. A solução de sacarose foi preparada a 60°Brix com sacarose comercial e água destilada.

### **4.2.2. Desidratação osmótica**

Goiabas em metades foram osmoticamente desidratadas em solução de sacarose (60°Brix) aquecida a 40°C e reutilizada por vinte vezes, em um sistema semicontínuo com recirculação da solução por bombeamento. As goiabas foram distribuídas em bandejas e colocadas dentro do desidratador, o número de bandejas variou de acordo com a condição da relação fruta:solução. Foram estudadas três condições de fruta:solução, 1:10, 1:5 e 1:3 e, em cada condição, a solução de sacarose foi reaproveitada vinte vezes. A concentração da solução foi corrigida com xarope de sacarose a 70°Brix, sempre que necessário. O tempo de processo osmótico para cada estágio de reutilização foi de duas horas. Após o tempo de desidratação, a fruta foi retirada do sistema, e o sistema foi novamente alimentado com goiabas e com a solução da batelada anterior. O funcionamento do sistema encontra-se descrito no capítulo III, item 3.2.2.2.

Durante os 20 tratamentos, amostras de goiabas e da solução de sacarose foram retiradas no início e no final de cada estágio para avaliar as propriedades físicas e químicas. Após cada estágio, as goiabas desidratadas foram enxaguadas com água clorada (200 ppm de cloro ativo) e levemente enxugadas com papel absorvente.

#### **4.2.3. Determinações físicas e químicas**

Na solução de sacarose, após cada tratamento, foram avaliados os sólidos solúveis (refratômetro Zeiss West, Alemanha), a atividade de água (higrômetro Decagon CX-2T Aqualab – Decagon Devices Inc., USA) e a turbidez pelo índice de absorbância avaliado em espectrofotômetro marca Beckmann modelo DU70 (USA) com comprimento de onda de 278 nm. Nas goiabas processadas com o reaproveitamento da solução, foram determinados os teores de umidade, acidez titulável, sólidos solúveis e atividade de água por métodos já descritos no capítulo III.

A perda de peso, perda de água e ganho de sólidos foram calculados em cada um dos 20 estágios dos três tratamentos estudados (1:10, 1:5 e 1:3) pelas equações 3.3, 3.4 e 3.5, respectivamente.

A cor das amostras foi avaliada através dos parâmetros de diferença de croma ( $\Delta C^*$ ), tendo como padrão a goiaba fresca, e ângulo de tom  $h^*$ , calculados a partir das equações 2.3 e 2.4.

#### **4.2.4. Avaliação microbiológica**

Na solução de sacarose, ao final do processo osmótico de cada ciclo de reaproveitamento da solução, foi quantificada a população microbiana de bolores, leveduras e o número provável de coliformes totais conforme metodologia descrita por SILVA *et al.*, 1997.

#### **4.2.5. Avaliação sensorial**

A análise sensorial foi realizada no laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Alimentos e Nutrição da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. As amostras de goiaba

desidratadas osmoticamente no 1º, 5º, 10º e 15º reaproveitamento da solução desidratante, foram avaliadas subjetivamente quanto aos atributos de aroma, sabor, cor e textura. As avaliações foram realizadas comparando-se entre as goiabas obtidas dos reaproveitamentos e a amostra fresca, utilizando-se um grupo de 38 consumidores não treinados constituídos por graduandos, pós-graduandos e funcionários da UNICAMP, como julgadores. Aplicou-se o teste de Comparação Múltipla ou Diferença-do-Controle (Anexo I), preconizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995). As amostras foram apresentadas segundo o delineamento de blocos completos casualizados. Os julgadores receberam a amostra padrão (fruta fresca) especificada com a letra P e quatro amostras desidratadas codificadas com algarismos aleatórios de três dígitos. Solicitou-se que avaliassem cada uma das amostras-teste em relação à amostra-padrão, comparando-as segundo o atributo específico através de uma escala ancorada nos extremos: 1 (nenhuma diferença de P) a 8 (extremamente diferente de P) e registrasse a sua opinião sobre cada amostra.

#### **4.2.6. Análise estatística dos resultados**

Os dados obtidos dos tratamentos e das análises foram avaliados pela Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Dunnet, sendo consideradas as diferenças significativas ao nível de significância de 5%.

### **4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Durante o processo de desidratação osmótica, com a saída de água e das substâncias solúveis naturais da fruta (açúcar, vitaminas, pigmentos, ácidos orgânicos, sais minerais, entre outros) e o provável ingresso de solutos solúveis da solução para o produto, podem ocorrer mudanças das propriedades físicas e químicas na solução osmótica e na fruta. Essas mudanças podem ser maiores quando a solução osmótica é reaproveitada em sucessivos ciclos de desidratação osmótica. Desta maneira, foram avaliadas as características físicas na solução e na fruta, além da carga microbiana na solução. Um teste sensorial foi aplicado para avaliar o produto.

### **4.3.1. Propriedades da solução osmótica**

#### **4.3.1.1. Sólidos solúveis**

Com o reaproveitamento da solução nos sucessivos ciclos de desidratação, a concentração da solução desidratante foi alterada. Nos ensaios de desidratação utilizando a proporção de fruta:solução de 1:10, a concentração da solução diminuiu 0,1°Brix a cada ciclo. Além disso, a cada renovação da fruta no desidratador, perdas de solução foram inevitáveis, sendo consideradas da ordem de 20% nos 20 ciclos. Para manter a concentração inicial e a quantidade de solução necessária ao longo dos 20 ciclos foram adicionadas, no total, 38,4 g de sacarose para 25 kg de solução. A adição do açúcar foi feita na forma de xarope a 70°Brix, sempre que a concentração da solução alcançava o valor de 59,7°Brix, ou seja, a cada três ciclos.

Nos ensaios com razão fruta:solução de 1:5 a diluição da concentração da solução foi mais acentuada, sendo mais evidente a migração da água da fruta para a solução apresentando diminuições da ordem de 7,3% por ciclo. Isto significa que a concentração média final a cada ciclo foi de 55,6°Brix. A correção da concentração foi feita quando a solução apresentava 54,6°Brix, sendo que ao todo (20 ciclos) foram adicionadas 72 g de sacarose considerando também perdas de 20%. Um trabalho semelhante foi realizado por VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (1998) na desidratação osmótica de pedaços de maçã em solução de sacarose a 60°Brix por 90 min e relação de fruta:solução de 1:5. Os autores reutilizaram a solução por 20 vezes e adicionaram sacarose para manter a concentração inicial e substituir as perdas decorrentes da manipulação da fruta durante a carga/descarga. Eles consideraram perdas de 22% e adicionaram a cada carga 3,3 g de sacarose por 100 g de solução. Comparando com o trabalho aqui apresentado, essa adição de sacarose equivale a 330 g, quatro vezes a mais que a quantidade adicionada na desidratação de goiabas. A diferença observada pode ser justificada, em parte, pela drenagem da solução no momento de retirar a fruta do desidratador (o que favoreceria à perda) e pela quantidade de fruta processada por batelada. No caso do trabalho de VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (1998) foram

---

utilizados 14 kg de maçã por batelada, enquanto que neste trabalho usaram-se 4 kg. Por outro lado, essa redução de solutos da solução poderia também ser atribuída a um maior incremento dos mesmos na maçã, como consequência da transferência de massa ser maior devido à sua estrutura celular mais porosa. Entretanto, o resultado apresentado pelos autores, para o ganho de solutos, foi ao redor de 8,5% após 90 min de processo e na goiaba em torno de 8 a 9,5% . Outro estudo realizado por BOLIN *et al.* (1983), mostrou perdas de 9-14 g de sacarose durante a desidratação e 10-15 g na drenagem da fruta do equipamento.

Na relação de fruta:solução 1:3, a diluição do xarope foi muito maior. Para manter a concentração da solução próxima a 60°Brix, foram adicionadas 450 g de sacarose na solução para os 20 ciclos de desidratação.

#### 4.3.1.2. Cor

A cor é um aspecto importante que tem que ser considerado no estudo da viabilidade do reaproveitamento da solução osmótica, dado que sua mudança pode afetar a qualidade da fruta desidratada.

Devido à transparência do xarope, as modificações da cor da solução com o reaproveitamento foram lidas pelo grau de absorbância da solução após cada tratamento no espectro visível (278nm), tendo como padrão a solução de sacarose inicial (60°Brix). Aumentos progressivos de turbidez foram observados durante o curso da reutilização, sendo obtidos valores de 19 a 40, 22 a 42 e 39,8 a 50 de densidade óptica para as relações de fruta:solução de 1:10, 1:5 e 1:3, respectivamente (Tabela 4.1). Isso mostra que o desprendimento de partes da fruta contribuiu fortemente para o escurecimento da solução, além das reações de escurecimento.

VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (1999), analisaram as alterações de cor na solução e na fruta durante o processo da desidratação de kiwi com reaproveitamento da solução (relação fruta:solução 1:4). A solução foi avaliada pelo índice de transmitância e foi observada uma diminuição na transparência da solução após seu uso contínuo. A influência dessas alterações na fruta foi

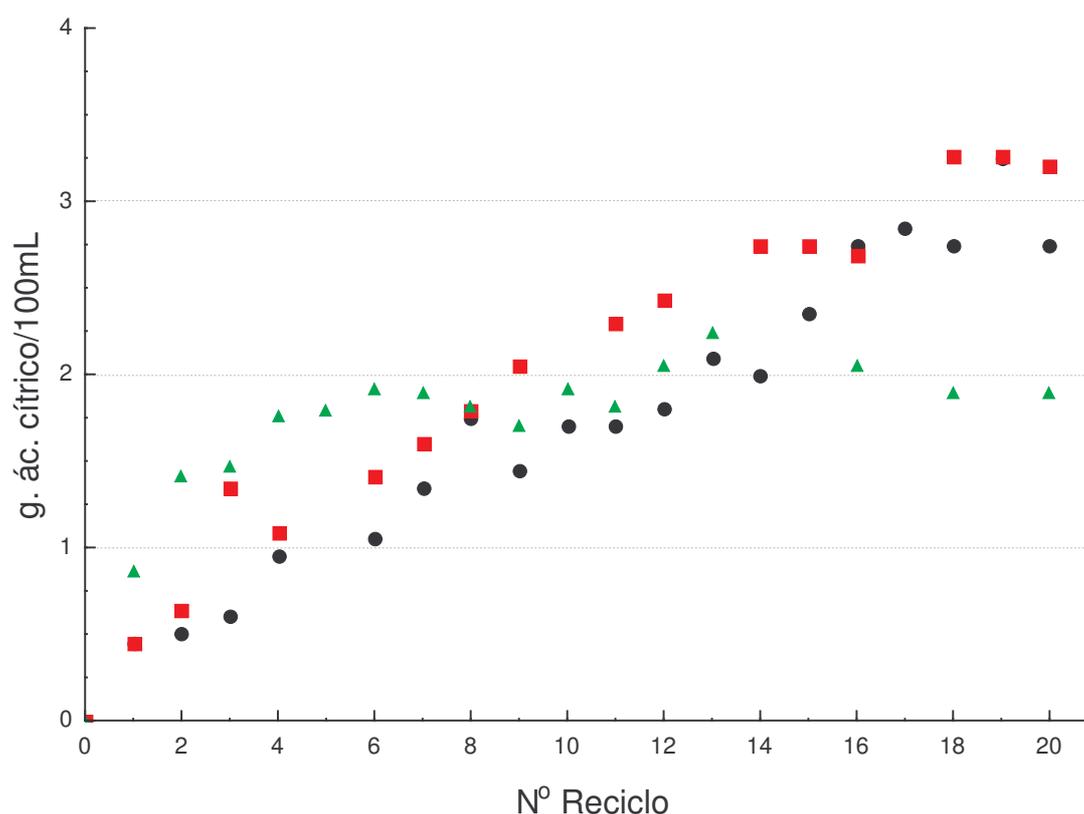
observada pela diminuição do parâmetro de luminosidade, após o terceiro ciclo, assim como pelo ligeiro aumento na cor amarela da fruta (parâmetro  $b^*$ ). Os autores atribuíram essas mudanças principalmente aos pigmentos do kiwi transferidos ao xarope (xantofilas, clorofilas e  $\beta$ -carotenos).

#### 4.3.1.3. pH e Acidez

O pH inicial do xarope diminuiu de 6,00 ( $\pm 0,02$ ) para 3,82 nos seis primeiros estágios do reaproveitamento e permaneceu estável após a sexta reutilização, nas três condições de processamento (1:10, 1:5 e 1:3). Comportamento semelhante foi observado por VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (2002), no reaproveitamento de xarope de sacarose na desidratação de maçã, em que o pH diminuiu de 6,8 para 4, o que foi considerado benéfico, visto que valores de pH baixos diminuem a resistência dos microrganismos e inibem o seu crescimento. GARCÍA-MARTÍNEZ *et al.* (2002) na desidratação de kiwis em função da relação fruta:solução (1:20, 1:10 e 1:5), com reutilização do xarope de sacarose por 10 vezes, observaram grande variação do pH durante os primeiros ciclos de reuso alterando de 6,1 para 3,7. Após o terceiro ciclo de reaproveitamento, o xarope alcançou o mesmo pH da fruta e permaneceu praticamente estável nos ciclos subsequentes. Os autores relataram não terem sido observadas diferenças devido à relação fruta:solução, nem influência da mudança de pH da solução no pH da fruta (pH=3,3).

O teor de acidez titulável (AT), avaliado em função do conteúdo de ácido cítrico em 100 mL da solução (Figura 4.1), aumentou progressivamente com o número de reutilizações até o 18º ciclo de reaproveitamento, para o tratamento com relação fruta:solução 1:10. No tratamento 1:5, a acidez aumentou até o 17º reciclo, e depois se manteve praticamente constante ao redor de 2,7( $\pm 0,2$ ) g/100mL. No tratamento 1:3, o aumento progressivo se deu até o 4º ciclo de reaproveitamento, estabilizando-se em 1,9( $\pm 0,1$ ) g/100mL. Neste caso foi necessária a reposição contínua da solução de sacarose (adição de 450g de sacarose em 20 ciclos), o que influenciou no teor de acidez titulável. No entanto, o

mesmo não ocorreu no tratamento 1:5. Nesta condição, a reposição de solução de sacarose foi de 72g de sacarose em 20 ciclos, observando-se então, o aumento da acidez no processo de desidratação osmótica com reciclo da solução.



**Figura 4.1.** - Acidez titulável da solução de sacarose após cada reaproveitamentos da solução nas três condições de fruta:solução: 1:10 (●), 1:5 (■) e 1:3 (▲).

A estabilização da acidez da solução pode indicar um equilíbrio com a acidez da fruta (VALDEZ-FRAGOSO *et al.*, 2002).

#### 4.3.1.4. Atividade de água

A atividade de água não apresentou diferenças significativas entre os ciclos de reaproveitamento da solução para um mesmo tratamento. Porém, entre as condições de processamento (1:10, 1:5 e 1:3), a atividade de água aumentou progressivamente para relações de fruta:solução mais estreitas, enquanto que a

quantidade de sólidos solúveis diminuiu. É interessante observar que, no entanto, não houve diferenças entre os valores de atividade de água para relações fruta:solução 1:5 e 1:3. No estudo do reaproveitamento de xarope de sacarose por 10 vezes na desidratação de kiwi, GARCÍA-MARTÍNEZ *et al.* (2002) também observaram a diminuição de sólidos solúveis e um maior aumento da atividade de água em relações mais estreitas de fruta:solução (1:20, 1:10 e 1:5), porém, apesar de terem sido observadas pequenas diferenças na solução desidratante, estas não foram atribuídas à progressiva diluição do xarope, mas sim às pequenas variações das variáveis tempo e temperatura.

**TABELA 4.1.** - VALORES MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIO DA VARIAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (SS), ATIVIDADE DE ÁGUA ( $A_w$ ) E ABSORBÂNCIA DAS SOLUÇÕES DE SACAROSE REUSADAS 20 VEZES NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS NAS CONDIÇÕES DE RELAÇÃO FRUTA:SOLUÇÃO DE 1:10, 1:5 E 1:3.

Tratamento		SS (°Brix)	$A_w$	Densidade óptica (UA)
Solução padrão		<b>60,0</b>	<b>0,893</b>	<b>0,00</b>
1:10	Valor máximo	62,70	0,890	40,80
	Valor mínimo	59,70	0,899	19,10
	Valor médio	<b>61,88</b>	<b>0,896</b>	<b>30,68</b>
	DP	0,75	0,003	7,74
1:5	Valor máximo	59,7	0,907	42,30
	Valor mínimo	54,6	0,899	21,50
	Valor médio	<b>57,37</b>	<b>0,913</b>	<b>34,08</b>
	DP	1,11	0,005	6,12
1:3	Valor máximo	62,4	0,892	54,00
	Valor mínimo	54,2	0,900	32,30
	Valor médio	<b>57,43</b>	<b>0,914</b>	<b>45,44</b>
	DP	2,38	0,008	05,05

DP: Desvio Padrão

#### 4.3.1.5. Análise microbiológica

A importância do aspecto microbiológico durante o reaproveitamento da solução desidratante no processo osmótico é fundamental para manter sob controle o nível de contaminação da solução e limitar a sua reutilização.

Durante a desidratação osmótica, com o sucessivo reaproveitamento da solução, houve um aumento da carga microbiana na solução de sacarose. A relação fruta:solução, influenciou na carga microbiana, sendo maior nos tratamentos 1:5 e 1:3 (Tabela 4.2). No processamento mais crítico (relação fruta:solução 1:3), o número de unidades formadoras de colônia (UFC) por mL de xarope foi menor que  $3,1 \times 10^2$  até o 15º ciclo de reaproveitamento e só no 20º ciclo, os valores encontrados ( $3,8 \times 10^4$  UFC/mL) estiveram acima de  $10^4$  UFC/mL, limite definido pela Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério de Saúde (ANVISA, 1998). Nas outras condições de estudo, o número de microrganismos estiveram abaixo dos valores críticos.

**TABELA 4.2.** CONTAGEM DE BOLORES E LEVEDURAS NA SOLUÇÃO DE SACAROSE EM DIFERENTES CICLOS DE REAPROVEITAMENTO PARA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE GOIABAS.

Nº de ciclos de reaproveitamento	Contagem de bolores e leveduras (UFC/mL)		
	1:10	1:5	1:3
0	<10	<10	<10
1	<10	$1,0 \times 10^1$	<10
5	<10	$4,0 \times 10^1$	<10
10	$1,0 \times 10^1$	$9,0 \times 10^1$	$4,0 \times 10^1$
15	$3,0 \times 10^1$	$2,7 \times 10^2$	$3,1 \times 10^2$
20	$2,0 \times 10^1$	$9,5 \times 10^2$	$3,8 \times 10^4$

Nas condições de fruta:solução 1:10, 1:5 e 1:3, até o décimo ciclo, a contagem de bolores e leveduras foi menor que 10 UFC/mL. Resultados semelhantes foram obtidos por GARCÍA-MARTÍNEZ *et al.* (2002) na desidratação de kiwi nos 10 ciclos de reuso de xarope, atribuindo este fato ao pH da solução osmótica. Também observaram que a contaminação aumentou nas relações de fruta:solução mais estreitas, o que foi explicado pela maior diluição do xarope durante o processo osmótico e, conseqüentemente, maiores valores de atividade de água. Neste estudo, na condição 1:3, a contaminação microbiana foi maior a partir do 15º ciclo de reutilização. Nos ciclos anteriores, a contagem microbiana

foi menor que na relação 1:5 devido à adição de xarope, para a correção da concentração da solução de sacarose.

VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (2002), no reaproveitamento da solução de sacarose por 20 vezes na desidratação de maçãs, observaram o aumento da carga microbiana com a reutilização da solução obtendo, ao final dos 20 ciclos, valores inferiores a  $2,59 \times 10^3$  UFC/g. A baixa carga microbiana foi favorecida pela filtração constante da solução (5  $\mu\text{m}$ ).

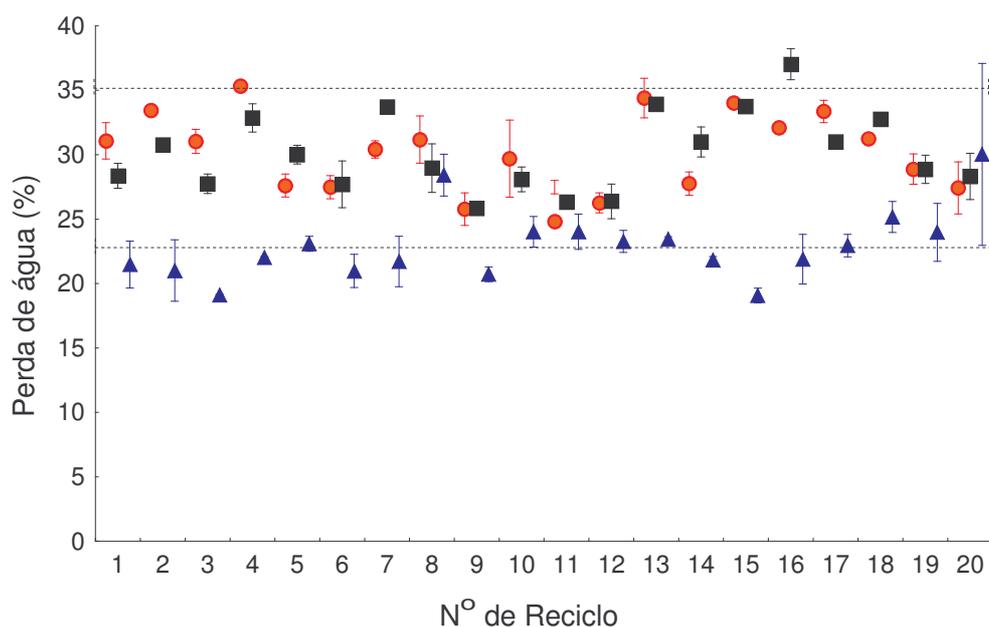
Na contagem de coliformes totais e fecais, realizados na solução de sacarose ao final de cada ciclo de reaproveitamento, houve ausência dos mesmos, o que sugere a eficiência dos cuidados higiênicos tomados durante o processamento, bem como da ação positiva da solução clorada na desinfecção da matéria-prima.

#### **4.3.2. Propriedades físicas da fruta desidratada**

##### **4.3.2.1. Perda de água e ganho de solutos na goiaba**

As Figuras 4.2 e 4.3 mostram a evolução da perda de água e o ganho de solutos, respectivamente, durante o processo de desidratação osmótica de goiabas nos 20 ciclos de reaproveitamento da solução.

Nos tratamentos com proporções de fruta solução de 1:10 e 1:5, os valores médios de perda de água foram em torno de 30 % para ambas condições. No entanto, os valores médios foram 4% ( $\pm 2$ ) menores que os apresentados no capítulo 3. Essa diferença pode ser atribuída, em parte, à perda da força motriz da solução por fatores secundários como a presença de solutos hidrossolúveis e partículas insolúveis da fruta na solução, o incremento de água de lavagem dos equipamentos, fruta e acessórios ou as pequenas variações do tempo e temperatura de processo.



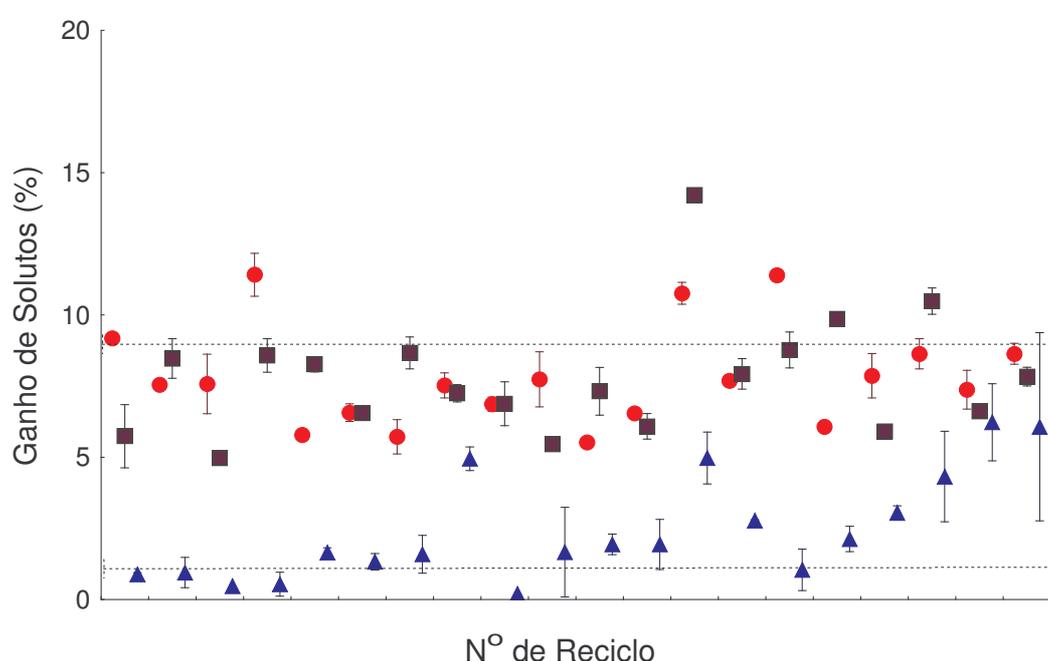
**Figura 4.2.** - Perda de água nos vinte processamentos de desidratação osmótica de goiabas com reaproveitamento da solução de sacarose a diferentes proporções de fruta:solução: 1:10 (●), 1:5 (■) e 1:3 (▲).

No tratamento 1:3, a perda de água foi menor ( $\cong 23\%$ ), como conseqüência da compactação da fruta no sistema, independente da concentração da solução de sacarose. A partir do 15º reciclo, a concentração da solução não foi corrigido, o que provavelmente ocasionou uma maior diluição, porém não implicou em menor perda de água.

Na Figura 4.3 observa-se o ganho de solutos da fruta na desidratação com solução reaproveitada em 20 bateladas. A incorporação de solutos na fruta faz parte do processo de desidratação osmótica e corresponde à transferência de massa causada pelo gradiente de concentração existente entre a fruta e a solução (RASTOGI & RAGHAVARAO, 1997). Durante os 20 estágios de desidratação na condição de processo de 1:10 e 1:5, o teor de açúcares foi semelhante e manteve-se praticamente constante em todos os ciclos.

A avaliação estatística dos resultados de perda de água e ganho de solutos mostrou não haver diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os ensaios com

soluções reutilizadas. Os desvios observados, dentro de uma mesma condição de tratamento, podem ser atribuídos à dificuldade em uniformizar a matéria-prima segundo o grau de maturação das frutas, já que a quantidade de açúcares tende a aumentar com o amadurecimento (CARVALHO, 1999). A perda de água e o ganho de solutos observados por VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (2002), no reaproveitamento da solução desidratando maçãs, também não foram significativos entre os ciclos de reaproveitamento.



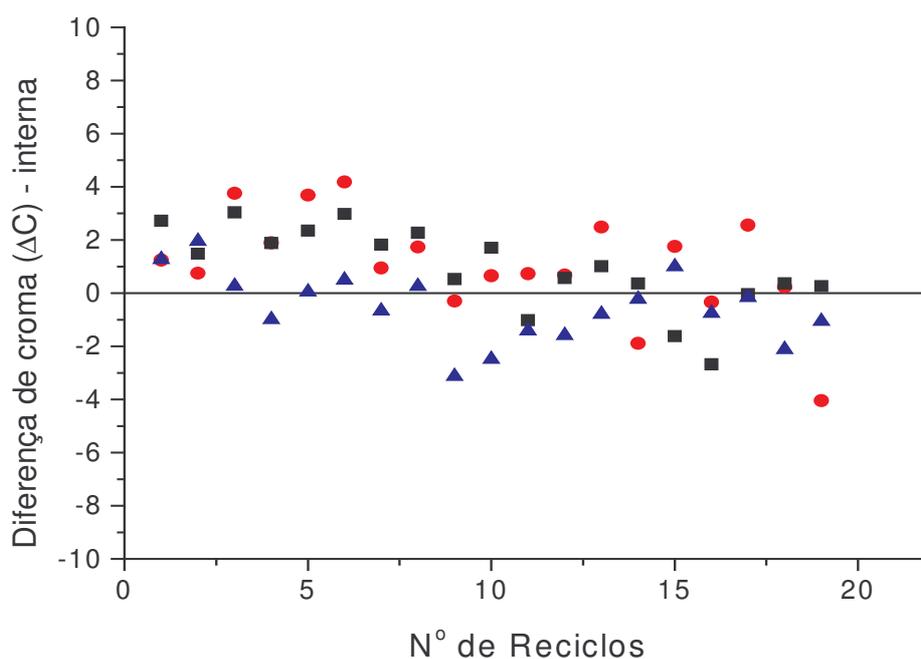
**Figura 4.3.** - Ganho de sólidos nos vinte processamentos de desidratação osmótica de goiabas com reaproveitamento da solução de sacarose a diferentes proporções de fruta:solução: 1:10 (●), 1:5 (■) e 1:3 (▲).

#### 4.3.2.2. Cor

As alterações de cor nas goiabas obtidas do processamento osmótico com reutilização da solução foram avaliadas pela diferença do índice de saturação ( $\Delta C^*$ ) e pelo ângulo de tom ( $h^*$ ), tendo como base à fruta *in natura*.

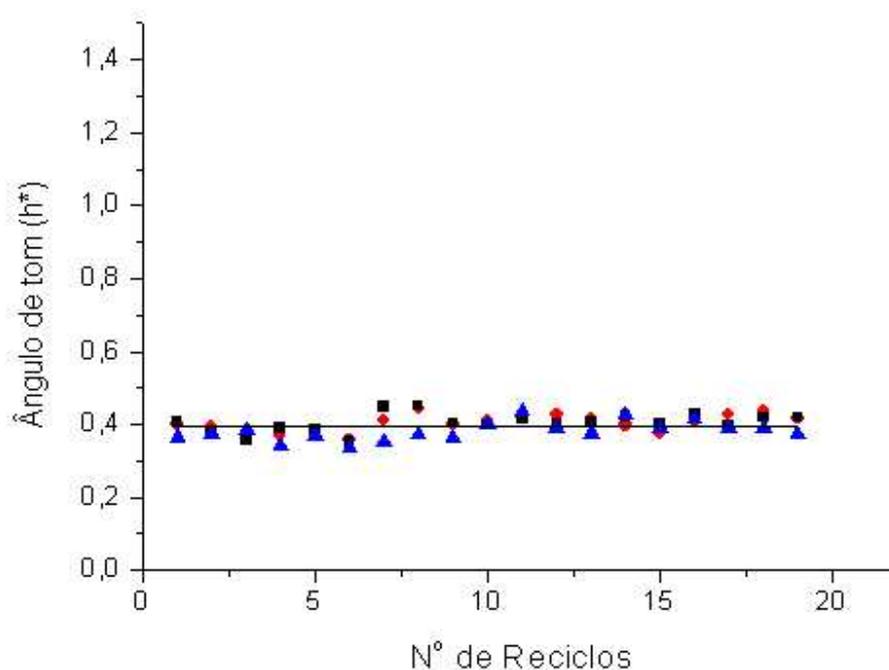
Nas condições 1:10 e 1:5, os valores positivos de  $\Delta C^*$  (Figura 4.4) sugerem que a cor vermelha predominou ao longo dos 20 ciclos de reaproveitamento. Os valores que se encontram fora da tendência, podem estar relacionados com a variabilidade do estágio de maturação das goiabas. Entretanto, parece haver uma pequena tendência ao decréscimo de  $\Delta C^*$  com o número de reutilizações da solução.

Na condição 1:3, há uma ligeira tendência à cor amarela, observada pelos valores negativos de  $\Delta C^*$ , sendo este comportamento esperado devido à contínua adição de solução de sacarose (predominantemente amarela) para a correção da concentração da solução. No geral, para cada condição estudada, a análise de variância (ANOVA) dos resultados não mostrou diferença significativa entre o número de vezes que a solução foi reaproveitada.



**Figura 4.4.** - Diferença de coroma ( $\Delta C^*$ ) das amostras processadas após cada reciclo em relação à fruta fresca nas condições de fruta:solução: 1:10 (●), 1:5 (■) e 1:3 (▲) - parte interna.

A tonalidade ( $h^*$ ) de amostras de goiaba osmodesidratada, definida pela coloração característica da fruta, manteve-se praticamente inalterada em todos os 20 processamentos (Figura 4.5) sugerindo a manutenção da cor vermelha, com leve acentuação após o oitavo ciclo de reaproveitamento para as três condições estudadas. Essa acentuação pode ser atribuída à alteração da cor da solução, provocada pelos pigmentos solúveis da fruta durante os sucessivos ciclos de reutilização e a impregnação de solutos na fruta, bem como a reações de escurecimento não enzimático (SZYMCZAK *et al.*, 1998).



**Figura 4.5.** - Variação do ângulo de tom ( $h^*$ ) das amostras processadas em cada reciclo dos 20 tratamentos nas condições de fruta:solução: 1:10 (●), 1:5 (■) e 1:3 (▲) - parte interna.

GARCÍA-MARTÍNEZ *et al.* (2002) avaliaram a cor de kiwis desidratados obtidos dos diferentes ciclos de reutilização do xarope em três tipos de relação fruta:solução (1:20, 1:10 e 1:5) e também observaram um ligeiro aumento na cor amarela dos frutos com conseqüente diminuição da luminosidade, sendo mais influenciada por proporções de fruta:solução mais estreitas (1:5). As modificações

observadas foram atribuídas principalmente aos pigmentos da fruta, transferidos ao xarope durante a desidratação.

VALDEZ-FRAGOSO *et al.* (2002) avaliaram a diferença de cor ( $\Delta E$ ) em cubos de maçã, obtidos do processo osmótico com reuso da solução por 10 vezes e, mesmo ocorrendo o escurecimento da solução com a reutilização, não foram detectadas alterações de cor que comprometessem a aceitação do consumidor.

Neste estudo, os parâmetros de  $\Delta C^*$  e  $h^*$ , possibilitaram a constatação de que apesar de ocorrerem variações de cor, o reaproveitamento da solução não provocou uma tendência perceptível de alteração na cor da fruta desidratada. Assim, observou-se que as reutilizações da solução desidratante não exerceram influência significativa ( $p < 0,05$ ) sobre a cor do produto obtido, porém, a relação de fruta solução 1:5 apresentou menores desvios com relação à fruta fresca.

#### **4.3.2.3. Características físicas e químicas das goiabas osmodesidratadas**

A Tabela 4.3 apresenta os valores das médias e os desvios padrão das características físicas e químicas de goiabas frescas e tratadas osmoticamente na condição de relação fruta:solução 1:5.

Nas amostras osmodesidratadas foi observado um aumento no teor de açúcares totais em relação à amostra fresca. Esse aumento pode ser explicado pela impregnação e incorporação dos açúcares presentes na solução desidratante. Os açúcares podem estar presentes, na solução, na forma hidrolisada (devido à hidrólise enzimática, hidrólise ácida ou pelo efeito da temperatura), ou simplesmente na forma de sacarose (isto é, não hidrolisada). Essa incorporação faz parte do processo de desidratação osmótica e corresponde à transferência de massa causada pelo gradiente de concentração existente entre a fruta e a solução (RASTOGI & RAGHAVARAO, 1997). Com relação aos ciclos de reaproveitamento, o teor de açúcares manteve-se praticamente constante durante os 20 processamentos. Ainda em consequência da desidratação osmótica, os valores de atividade de água e umidade para as amostras tratadas são menores (Tabela 4.3). A acidez das amostras tratadas osmoticamente foi

significativamente menor ( $p < 0,05$ ) que a da fruta fresca, embora fosse constante durante o reuso da solução. Este resultado pode ser explicado por uma perda considerável de ácidos hidrossolúveis da fruta para a solução desidratante e também por deterioração oxidativa (VIAL *et al.*, 1991). Além disso, o pH apresentou valores mais elevados confirmando esta tendência. As diferenças observadas entre as amostras podem ser atribuídas às pequenas diferenças entre a matéria-prima utilizada (LEE & KADER, 2000).

**TABELA 4.3.** - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE GOIABAS FRESCAS E TRATADAS OSMOTICAMENTE OBTIDAS COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A  $60 \pm 2,3^{\circ}\text{BRIX}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  POR 2 HORAS E REUSADA NO PROCESSO DE 20 BATELADAS.

Análises	Fresca	1ª batelada	5ª batelada	10ª batelada	20ª batelada
Acidez titulável (g/100g)*	$0,62 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,01$	$0,37 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,01$	$0,42 \pm 0,04$
Açúcares totais (%)	$9,34 \pm 1,93$	$16,50 \pm 0,01$	$13,96 \pm 0,01$	$16,43 \pm 0,01$	$15,72 \pm 0,01$
Atividade de água	$0,989 \pm 0,003$	$0,978 \pm 0,003$	$0,976 \pm 0,003$	$0,977 \pm 0,003$	$0,979 \pm 0,003$
pH	$3,90 \pm 0,20$	$4,83 \pm 0,30$	$4,88 \pm 0,20$	$4,50 \pm 0,10$	$4,44 \pm 0,20$
Umidade, b.u. (%)	$85,38 \pm 0,10$	$73,15 \pm 1,78$	$70,80 \pm 0,24$	$71,35 \pm 0,67$	$72,45 \pm 0,93$

\* Expressos em ácido cítrico, b.u.: base úmida.

#### 4.3.2.4. Análise sensorial

As goiabas desidratadas na proporção fruta:solução 1:5, foram submetidas ao teste sensorial de comparação múltipla tendo como amostra padrão a goiaba fresca. Os atributos avaliados foram cor, textura, aroma e sabor.

Dos 20 lotes de goiaba desidratada, a avaliação sensorial foi realizada nas amostras do 1º, 5º, 10º e 15º ciclo de reutilização da solução, a fim de garantir a segurança microbiológica das amostras testadas. Os resultados obtidos no teste sensorial foram submetidos à Análise de Variância e ao teste de Dunnet.

No atributo cor (Tabela 4.4), os provadores detectaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a cor da fruta fresca e as processadas, apresentando

estas últimas coloração característica mais intensa, comentado pelos julgadores. Instrumentalmente, foi também detectado um leve aumento na cor vermelha (valores positivos de  $\Delta C^*$ ) com o número de reaproveitamentos da solução, porém os valores lidos não foram significativamente diferentes entre as amostras processadas e a amostra fresca. É necessário considerar que a variação global da cor observada pela equipe sensorial é dificilmente reproduzível pela leitura instrumental visto que esta se refere à leitura individual dos parâmetros  $a^*$  (cor vermelha) e  $b^*$  (cor amarela), enquanto que na análise sensorial, o provador concentra-se na visualização global da fruta. No entanto, os resultados sensoriais entre as amostras processadas nos 15 ciclos não apresentaram variação significativa ao nível de 5%.

Com relação ao aroma, o painel de provadores percebeu diferenças entre a fruta fresca e as osmodesidratadas, sugerindo uma leve perda deste atributo (Tabela 4.4). Segundo TORREGGIANI & BERTOLO (2001), algumas substâncias voláteis como álcoois e compostos carbonílicos responsáveis pelo aroma da fruta podem solubilizar durante a desidratação osmótica. Outro estudo realizado por MAESTRELLI *et al.* (2001) na desidratação de melão (cultivar *Rony*) em solução de sacarose (60%) a 25°C por uma hora, obtiveram retenção de 79% dos componentes voláteis (álcoois e ésteres) responsáveis pelo aroma da fruta. Estudos sobre os constituintes voláteis da goiaba (ITAL, 1980) mostraram que o princípio odorizante da fruta é razoavelmente estável ao tratamento térmico e sugerem ser do tipo éster carbonílico, além de terpenos e álcoois de terpenos. Essa estabilidade dos compostos ativos pode explicar a alta retenção do aroma nas amostras desidratadas, com poucas modificações observadas pelos provadores. As pequenas oscilações das notas atribuídas às goiabas dos ciclos de reaproveitamento não foram significativas entre si, o que mostra que o reuso da solução não influencia na perda do aroma.

Referente ao sabor, a maioria dos provadores observou que as goiabas processadas osmoticamente apresentaram-se mais doces e mais agradáveis ao paladar que a goiaba fresca independente do número de ciclos à qual foi submetida (Tabela 4.4). Isto sugere que a impregnação de açúcares durante o

processo osmótico influenciou na aceitação do produto. Ao contrário destes resultados, SACCHETTI *et al.* (2001) relataram que o incremento da sacarose em palitos de maçã osmoticamente desidratado teve um efeito negativo na aceitabilidade do produto, avaliado como excessivamente doce pelo painel de provadores. Deve-se considerar que a composição química das frutas e suas características físicas influenciam significativamente nas avaliações subjetivas. Neste sentido, a impregnação da sacarose na goiaba atenuou sua característica de fruta ácida, favorecendo sua aceitação e preferência.

No atributo textura, o painel de provadores detectou amolecimento das amostras em decorrência do processamento, o que provocou diferenças com relação à fruta fresca. Porém, não houve diferenças significativas entre as amostras processadas nos diferentes ciclos.

**TABELA 4.4.** - MÉDIAS DE INTENSIDADE DOS ATRIBUTOS COR, AROMA, SABOR E TEXTURA DAS GOIABAS OSMO-DESIDRATADAS OBTIDAS DOS DIFERENTES RECICLOS DE SOLUÇÃO DE SACAROSE (10, 50, 100 E 150 RECICLO) E DO PADRÃO DE REFERÊNCIA (GOIABA FRESCA).

Atributo	Amostra				
	Fresca	1º Reciclo	5º Reciclo	10º Reciclo	15º Reciclo
<b>Cor</b>	1,00 <sup>a</sup>	3,32 <sup>b</sup>	2,76 <sup>b</sup>	2,68 <sup>b</sup>	3,37 <sup>b</sup>
<b>Aroma</b>	1,00 <sup>a</sup>	4,24 <sup>b</sup>	3,62 <sup>b</sup>	3,78 <sup>b</sup>	3,70 <sup>b</sup>
<b>Sabor</b>	1,00 <sup>a</sup>	4,13 <sup>b</sup>	3,71 <sup>b</sup>	4,00 <sup>b</sup>	3,95 <sup>b</sup>
<b>Textura</b>	1,00 <sup>a</sup>	3,47 <sup>b</sup>	3,34 <sup>b</sup>	3,16 <sup>b</sup>	3,34 <sup>b</sup>

Letras iguais na mesma linha representam amostras que não diferiram significativamente entre si ( $p < 0,05$ )

Em todos os atributos avaliados, o painel sensorial não detectou perdas de qualidade decorrentes das reutilizações da solução de sacarose, permitindo concluir que o reaproveitamento da solução em si não interfere nas características sensoriais das goiabas osmodesidratadas obtidas até o décimo quinto ciclo de reutilização da solução de sacarose, possibilitando a utilização deste recurso para a redução dos custos do processo osmótico.

#### 4.4. CONCLUSÕES

A diminuição do pH e, conseqüente, aumento da acidez durante a reutilização da solução de sacarose provavelmente contribuiu para manter a carga microbiana abaixo dos valores estabelecidos pela legislação. As modificações da solução de sacarose com a sucessiva reutilização na desidratação de goiabas, sob as condições estudadas, não influenciaram nos parâmetros de desidratação, além de ser possível a sua reutilização por até 20 vezes nas proporções 1:10 e 1:5 e até 17 vezes na proporção 1:3 em conseqüência da contagem microbiana, não comprometendo a qualidade da fruta desidratada. Porém, o uso da desidratação osmótica com proporção de fruta:solução 1:5 gera menos desperdício e favorece a redução de custos, sendo portanto mais vantajosa que as relações 1:10 e 1:3.

#### 4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAEDDINI, B. & DJOMEH, Z.E. Formulation and quality improvement of dried kiwifruit slices using an osmotic pre-treatment. **Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS 2004)**, v.C, p.2127-2132, 2004
- ALZAMORA, S.; GERSCHENSON, L.; VIDALES, S. e NIETO, S. Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation. Report of the meeting between CYTED and UNILEVER Representatives, 1997.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Alimentos**. Disponível em: <http://anvs1.saude.gov.br/Procuradoria/portaria/alimentos/451.1998.htm>. Acesso em 02 de julho de 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Teste de comparação múltipla em análise sensorial dos alimentos e bebidas**: NBR 13.526. Rio de Janeiro, ABNT, 1995, 9p.
- ARGAIZ, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI, J. Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids. **Drying Technology**, v.12, n.7, p.1709-1725, 1994.
- BOLIN, H.R.; HUXSOL, C.C. e JACKSON, R. Effect of Osmotic Agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, 48, p.202-205, 1983.
- CARVALHO, H.A. Utilização de atmosfera modificada na conservação pós-colheita da goiaba 'Kumagai'. Lavras: UFLA, 1999, 115p. (Tese- Doutorado em Ciência dos Alimentos).
- DALLA-ROSA, M. e GIROUX, F. Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. **Journal of Food Engineering**, 49, p.223-236, 2001.

ERLE, U. e SCHUBERT, H. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.193-199, 2001.

GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MARTINEZ-MONZÓ, J.; CAMACHO, M.M. e MARTINEZ-NAVARRETE, N. Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. **Food Research International**, v.35, p. 307-313, 2002.

GIANOTTI, A.; SACCHETTI, G.; GUERZONI, M.E. e DALLA ROSA, M. Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.265-270, 2001.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – ITAL. Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicas e seus produtos – Série Frutas Tropicais – 10 – Ed.Governo do Estado de São Paulo, 1980.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T. e MAROULIS, Z.B. Effect of osmotic dehydration on viscoelastic properties of apple and banana. **Drying Technology**, v.18, p.951-966. 2000.

LEE S.K. e KADER, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v.20, p.207-220, 2000.

MASTROCOLA, D.; BARBANTI, D.; DALLA-ROSA, M. e PITTIA, P. Physicochemical characteristics of dehydrated apple cubes reconstituted in sugar solutions, **Journal of Food Science**, v.63, n.3, p.495-498, 1998.

MAROUZÉ, C.; GIROUX, F.; COLLIGNAN, A. e RIVIER, M. Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.207-221, 2001.

MOREIRA, L.A.; OLIVEIRA, F.A.R.; OLIVEIRA, J.C. e SINGH, R.P. Textural changes in vegetables during thermal processing. II. Effects of acidification and selected pretreatments on texture of turnips. **Journal Of Food Processing And Preservation**, v.18, p.497-508, 1994.

MAESTRELLI, A.; SCALZO, R.L.; LUPI, D.; BERTOLO, G. e TORREGGIANI, D. Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv *reticulatus* Naud.). **Journal of Food Engineering**, v.49, p.255-260, 2001.

PONTING, J.D.; WATTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R. e STANLEY, W.L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v.10, n.1365, p.125-128, 1966.

RASTOGI, N.K. e RAGHAVARAO, K.S.M.S. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.34, p.429-440, 1997.

SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A. e DALLA ROSA, M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.163-173, 2001.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A. e SILVEIRA, N.F.A. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos**. Livraria Varela, São Paulo, Brasil, 1997.

SPIESS, W.E.L. e BEHSNILIAN, D. Osmotic Treatments in Food Processing Current State and Future Needs. *Drying 98 - Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS'98)*, v.A, p.47-56, 1998.

SZYMCZAK, J.A.; PLOCHARSKY, W.J. e KONOPACKA, D. The Influence of Repeated use of Sucrose Syrup on the Quality of Osmo-convectively Dried Sour Cherries. **Drying'98 - Proceedings of the 11<sup>th</sup> Internacional Drying Symposium**, v.A, p.895-902, 1998.

TORREGGIANI, D. e BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structure effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001.

TOMASICCHIO, M., ANDREOTTI, R. AND DE GIORGI, A. Disidratazione parziale della frutta per osmosi II – Ananas fragole e susine. **Industria Conserve**, v. 61, p. 108-114, 1986.

VALDEZ-FRAGOSO, A. e MUJICA-PAZ, H. Reuse of sucrose syrup in pilot-scale osmotic dehydration of apple cubes **Journal of Food Process Engineering** v.25, n.3, p.125-139, 2002.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Properties of a sucrose solution reused in osmotic dehydration of apples. **Drying Technology**, v.16, p.1429-1445, 1998.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Pilot plant for osmotic dehydration of fruits: Design and evaluation. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.189-199, 2002.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Note. Physico-chemical characteristics of sucrose syrup used for the osmotic dehydration of apples (Golden delicious). **Food Science and Technology International**, v.5, n.3, p.255-261, 1999.

VALENCIA-RODRIGUES,T.; ROJAS, A.M.; CAMPOS, C.A. e GERSCHENSON, L.N. Effect of osmotic dehydration on the quality of air-dried *Porphyra*. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.36, p.415-422, 2003.

VIAL, C.; GUILBERT, S. e CUQ, J.L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: Influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, v.11, p.63-84, 1991.

**CAPITULO V - SECAGEM DE GOIABAS PRÉ-DESIDRATADAS  
OSMOTICAMENTE EM SISTEMA SEMICONTÍNUO:  
PROPRIEDADES DE TEXTURA, COR E AVALIAÇÃO SENSORIAL**

**RESUMO**

Cinéticas e taxas de secagem foram avaliadas para goiabas *in natura* e osmodesidratadas em soluções de sacarose. As cinéticas foram ajustadas permitindo obter coeficientes de transferência de massa. O tratamento osmótico e a área de contato da fruta durante a secagem influenciaram no tempo de processo, sendo obtidas goiabas com umidade intermediária após 3 e 4h para goiabas pré-tratadas osmoticamente e sem pré-tratamento, respectivamente. As propriedades de cor e textura avaliadas instrumentalmente em todas as amostras estudadas, mostraram o efeito protetor da sacarose nas amostras submetidas à prévia desidratação osmótica, fornecendo produtos mais ternos e com melhor cor e sabor que as amostras secas sem prévio tratamento, evidenciado pela preferência de provadores, através do teste sensorial de ordenação e preferência.

## 5.1. INTRODUÇÃO

A secagem é um dos processos mais utilizados para a preservação de alimentos, sendo que a qualidade dos produtos e o custo de processamento são fatores que determinam sua aplicação.

O processo de secagem consiste na remoção da água de algum material, por evaporação através de transferência simultânea de calor e massa acompanhado de mudança de fase. A remoção de água permite minimizar deteriorações químicas, bioquímicas e microbiológicas, o que acarreta em aumento de vida útil do produto, diminuição do volume e peso no transporte, economia de espaço na estocagem, entre outros. (DOYMAZ, 2004). Entretanto, os processos de secagem causam alterações nas características dos vegetais frescos como perdas nos valores nutritivos e sensoriais, além de alterações na textura. Assim, nos últimos anos, melhorias na retenção da qualidade de produtos secos têm sido o maior objetivo da comunidade científica especializada no tema.

Tratamentos prévios à secagem como branqueamento (NIETO *et al.*, 2001), sulfitação (SHARMA *et al.*, 1998), desidratação osmótica (ERLE & SCHUBERT, 2001; PARK *et al.*, 2002; EL-AOUAR *et al.*, 2003; PIOTROWSKI *et al.*, 2004), imersão em soluções de carbonato de potássio, oleato de etila (DOYMAZ & PALA, 2002), entre outros, têm sido utilizados para melhorar a qualidade e/ou reduzir o teor de água de algumas frutas como manga, maçã, pêra, mamão e uva.

O uso da desidratação osmótica, previamente à secagem convencional, possibilita a obtenção de produtos com umidade intermediária (0,6 a 0,8) com atributos sensoriais e nutricionais melhores que os produtos obtidos sem o pré-tratamento, além de reduzir o tempo de secagem e a carga do secador (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001; PROTHON *et al.*, 2001; PARK *et al.* 2002; EL-AOUAR *et al.*, 2003; PIOTROWSKI *et al.*, 2004).

Durante a desidratação osmótica de um material em soluções hipertônicas ocorre a transferência simultânea de água (do material para a solução) e de soluto (da solução para o material) reduzindo sua umidade inicial. Como consequência

do pré-tratamento osmótico, freqüentemente, o tempo de secagem é menor. No entanto, o tempo de secagem depende do teor de umidade inicial e do teor final desejado do produto, da temperatura e da velocidade do fluxo de ar na secagem, das características estruturais, entre outros. Neste sentido, RAMASWAMY & NSONZI (1998), na secagem por convecção de framboesas pré-desidratadas osmoticamente, observaram que tempos maiores de desidratação osmótica exigiram um tempo menor de secagem. Em alguns casos, porém, o aumento da concentração da solução desidratante e da temperatura, no processo de desidratação osmótica, reduziram a permeabilidade celular do produto e, conseqüentemente, aumentaram o tempo de secagem. Por outro lado, a impregnação de solutos no alimento evita o encolhimento excessivo do tecido durante a secagem, proporcionando maior conservação de textura do mesmo (LERICI *et al.*, 1985; LEWICKI & LUKASZUK, 2000).

Em geral, devido à remoção prévia de água, em produtos pré-desidratados osmoticamente, o tempo de secagem é menor, porém, há uma diminuição na velocidade de secagem que pode ser atribuída ao efeito da impregnação do soluto na fruta que dificulta a saída de água (KARATHANOS & KOSTAROPOULOS, 1995). No cálculo dos coeficientes de transferência de massa e difusão é necessário avaliar a influência do pré-tratamento na secagem.

A modelagem de processos de secagem é fundamental para a seleção e otimização dos mesmos. Entretanto, as equações de transferência de calor e massa demandam considerável conhecimento de cálculo numérico para sua solução analítica (SIMAL *et al.*, 1998; SIMAL *et al.*, 2004; DOYMAZ, 2004; HERNANDEZ *et al.*, 2000). Alguns autores propõem modelos mais simples para simular as curvas de secagem de alimentos, os quais proporcionam uma representação aceitável dos resultados experimentais, embora os parâmetros desses modelos não considerem as mudanças das propriedades físicas do produto. O modelo mais simples é o conhecido modelo exponencial (Equação 5.1).

$$\frac{X_t - X_\infty}{X_o - X_\infty} = \exp(-kt) \quad (5.1)$$

Onde  $X_t$  é o conteúdo de umidade média (base seca) para um tempo  $t$ ,  $X_o$  e  $X_\infty$  são as umidades iniciais e no equilíbrio, respectivamente.  $K$  é a constante da taxa de secagem ( $s^{-1}$ ) e  $t$ , o tempo de secagem (s). Porém, este modelo não fornece simulações precisas das curvas de secagem de muitos produtos, subestimando valores no início da curva e superestimando nas fases posteriores. Para superar estas deficiências, o modelo de Page (Equação 5.2) é aplicado com uma modificação empírica para o parâmetro tempo, introduzindo um expoente “n”. Este modelo tem sido usado para simular as curvas de secagem de pêras (PARK *et al.*, 2002), mamão (EL-AOUAR, *et al.*, 2003), cenoura (DOYMAZ, 2004), kiwi (SIMAL *et al.*, 2004), entre outros.

$$\frac{X_t - X_\infty}{X_o - X_\infty} = \exp(-kt^n) \quad (5.2)$$

Os parâmetros  $K$  e  $n$ , tem sido correlacionados com diferentes variáveis do processo (temperatura, umidade inicial, entre outros). Estes modelos empíricos derivam diretamente da relação entre o conteúdo de umidade médio e o tempo de secagem. Porém, não fornecem uma visão precisa dos processos de transformação que ocorrem durante a secagem, embora possam descrever a curva da secagem para dados experimentais de uma situação específica.

Devido à complexidade dos mecanismos de transferência de massa em alimentos, a modelagem das curvas de secagem, durante a taxa de período decrescente é realizada assumindo que o principal mecanismo é de natureza difusional. Assim, considerando comportamento isotrópico do sólido com relação à difusividade da água, o processo de transferência de massa pode ser definido como uma função da lei de Fick (Equação 5.3), combinado com o balanço microscópico de transferência de massa.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \cdot \nabla X) \quad (5.3)$$

---

Sendo  $D_{ef}$  o coeficiente de difusão ( $m^2/s$ ) e  $X$  o conteúdo de umidade do material em base seca ( $kg/kg_{ms}$ ).

Pelo uso dos modelos descritos, o efeito do pré-tratamento osmótico na taxa de secagem tem sido amplamente estudado, obtendo-se diferentes tendências.

ISLAM & FLINK (1982), na secagem de fatias de batata com fluxo de ar quente a  $65^\circ C$ , pré-desidratadas em solução de sacarose (51%) obtiveram menores coeficientes de difusão para o material pré-desidratado osmoticamente e KARATHANOS & KOSTAROPOULOS (1995) observaram que amostras de maçã pré-desidratadas em soluções de sacarose mais concentradas (15 a 45% de sacarose), apresentaram coeficientes de difusão menores, na secagem a  $55^\circ C$ . Os autores justificam o fenômeno devido à redução da porosidade do tecido celular pela impregnação do açúcar, com subsequente colapso celular durante a secagem. Similar redução da difusividade foi publicada por NIETO *et al.* (2001), na secagem a  $60^\circ C$  de fatias de manga pré-tratadas por branqueamento e desidratação osmótica com soluções de glicose monoidratada (22,1% e 39,5%) a  $25^\circ C$ .

De acordo com UDDIN & HAWLADER (1990), coeficientes de difusão de água semelhantes foram obtidos na secagem de abacaxi com e sem tratamento osmótico. ALVAREZ *et al.* (1995) na secagem de morangos submetidos ao pré-tratamento térmico e desidratação osmótica, observaram que o branqueamento aumentou a difusividade efetiva da água, mas, a imersão posterior em glicose não causou nenhum efeito adicional. Este fato foi atribuído a modificações da estrutura do tecido celular do morango como o rompimento de membranas e degradação da lamela média e polissacarídeos de hemicelulose, presentes na parede celular, devido ao severo aquecimento resultando na impregnação do açúcar. Assim sendo, o efeito do pré-tratamento na taxa de secagem depende muito do tipo de material estudado e da solução desidratante utilizada.

Desta maneira, a avaliação dos atributos de qualidade nos produtos desidratados são necessários, pois as sensações experimentadas com a cor, a

---

deformação do material e a quebra durante o estágio inicial da mordida e mastigação influem na aceitabilidade ou rejeição dos produtos (ALVAREZ *et al.*, 2000). Dependendo dos tratamentos aplicados, os alimentos processados podem tornar-se excessivamente moles ou duros (LIN & SCHYVENS, 1995; COSTELL *et al.*, 1997). Apesar da textura estar relacionada diretamente com as propriedades mecânicas, esta relação pode modificar-se pelo efeito de sua interação com outros atributos sensoriais (sabor e cor).

Vários trabalhos têm mostrado que a desidratação osmótica favorece à maciez do tecido e ao menor encolhimento durante a secagem, resultando em uma estrutura preenchida por solutos devido à impregnação do soluto desidratante durante a desidratação osmótica (KROKIDA *et al.*, 2000b,c; PROTHON *et al.*, 2001; GRABOWSKI *et al.*, 2002). Além disso, quanto maior a entrada do soluto durante o pré-tratamento osmótico, o produto apresenta menor resistência à compressão que aquele desidratado sem pré-tratamento (LEWICKI & LUKASZUK, 2000). Assim, a secagem com ar quente de produtos pré-tratados osmoticamente, pode fornecer produtos mais ternos a baixas atividades de água que produtos desidratados sem pré-tratamento, o que pode ser agradável para degustar na forma de “snacks” ou para incorporar dentro de produtos de panificação, sorvetes, queijos ou iogurte (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

A textura das frutas desidratadas pode ser analisada tanto sensorial quanto instrumentalmente. No entanto, os ensaios instrumentais trazem a vantagem de fornecer dados padronizados e uma linguagem única entre pesquisadores (ABBOT, 1999). Instrumentalmente, a textura é quantificada de acordo com as propriedades mecânicas das amostras em ensaios que procuram, muitas vezes, imitar o comportamento humano (PONS & FISZMAN, 1996). O ensaio mais aplicado é o de compressão uniaxial que é utilizado para avaliar as propriedades mecânicas do produto (PELEG, 1979; KROKIDA *et al.*, 2000a).

Outra característica não menos importante é a cor do alimento. O estudo das alterações da cor durante a secagem de alimentos é de grande importância não só pelo aspecto visual, mas também por causa da sua íntima relação com o

conteúdo de vitaminas ou antioxidantes (RATTI *et al.*, 2001). No caso de frutas submetidas à desidratação osmótica, o grau de interferência na cor, irá depender das condições de processo (solução desidratante, concentração, temperatura, tempo, agitação).

A deterioração da cor em frutas é atribuída a reações de escurecimento enzimático e não-enzimático do tipo Maillard (SZYMCZAK *et al.*, 1998). Por outro lado, a deterioração da cor é também dependente de fatores como a variedade da fruta, o conteúdo de umidade, estágio de maturação e condições operacionais do processo de conservação (KIM *et al.*, 2004). Para uma padronização mais efetiva deste atributo, as alterações de cor nos produtos desidratados vêm sendo avaliadas através de sistemas instrumentais, visto que a visão humana se limita a enxergar somente uma pequena região do espectro e os instrumentos medem a luz no espaço de cor relacionado ao da visão humana; restringindo-se à região de luz visível (CALVO & DURAN, 1997).

A avaliação sensorial, sendo uma análise de qualidade obtida por nossas sensações, é tão importante quanto às análises físicas, químicas e microbiológicas dos alimentos. Assim, as avaliações sensoriais e instrumentais dos parâmetros de qualidade complementam a caracterização final do produto e são extremamente importantes para avaliar sua qualidade e aceitabilidade.

Diante do exposto, o objetivo deste capítulo foi avaliar a influência do pré-tratamento osmótico na cinética de secagem e o uso de modelos matemáticos para a modelagem das cinéticas, bem como a qualidade de goiabas osmodesidratadas e secas através de testes instrumentais e sensoriais, avaliando cor e textura.

## **5.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1. Matéria-prima**

Foram utilizadas goiabas (*Psidium guajava* L.) da variedade vermelha e cultivar *Paluma* frescas e desidratadas osmoticamente. As frutas antes de serem

processadas foram selecionadas e tratadas como descrito no item 3.2.1 do Capítulo III.

### 5.2.2. Pré-tratamento osmótico

Com base nos resultados obtidos no capítulo anterior, o processo de desidratação osmótica foi realizado em equipamento semicontínuo com recirculação da solução por bombeamento com vazão mássica de 540 kg/h e reutilização da solução desidratante por até 20 vezes. O tempo de tratamento osmótico foi de duas horas para cada ciclo, em solução de sacarose a 60°Brix aquecida a 40°C e relação fruta solução 1:5. Para os ensaios de secagem, a reutilização da solução por 20 vezes foi realizada durante quatro dias, cinco ciclos por dia. Entre um dia e o outro, a solução foi mantida sob refrigeração a 5°C. O processo de desidratação no sistema semicontínuo encontra-se descrito no item 3.2.2.2. do Capítulo III.

Após o tratamento osmótico, as goiabas eram colocadas num recipiente hermético e conservadas a 10°C durante 12 horas, com a finalidade de uniformizar e estabilizar a umidade das amostras. As características físicas e químicas das amostras desidratadas são mostradas na Tabela 5.1.

**TABELA 5.1.** VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS GOIABAS DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE EM SOLUÇÃO DE SACAROSE (RELAÇÃO FRUTA:SOLUÇÃO 1:5) REAPROVEITADA POR 20 VÉZES.

Características	Fruta fresca	Goiaba osmodesidratada
Umidade (% b.u.)	85,38 ± 0,10	71,94 ± 1,06
Atividade de água	0,991 ± 0,001	0,978 ± 0,001
Acidez titulável (g/100g)*	0,62 ± 0,02	0,40 ± 0,02
Açúcares totais (%)	9,34 ± 1,93	15,65 ± 1,18
Perda de água (%)	---	30,19 ± 3,47

\*Expresso em g de ácido cítrico por 100 g de goiaba

### 5.2.3. Secagem

As goiabas cortadas em metades e osmodesidratadas foram colocadas à temperatura ambiente (23±2°C) por duas horas para equilibrar a

temperatura. Cada metade foi cortada longitudinalmente em oito fatias iguais, de forma a obter palitos de aproximadamente 10 mm de largura por 50 a 60 mm de comprimento e 5 a 6 mm de espessura para serem submetidas à secagem.

Duas etapas experimentais de secagem foram realizadas nas goiabas em palitos. A primeira até atingir o equilíbrio e a segunda até alcançar uma umidade final de aproximadamente 18% em base úmida para obter um produto de umidade intermediária ( $a_w$  entre 0,65 e 0,75). Paralelamente, a secagem de goiabas sem tratamento osmótico foi realizada para avaliar a influência do processo de desidratação osmótica na secagem.

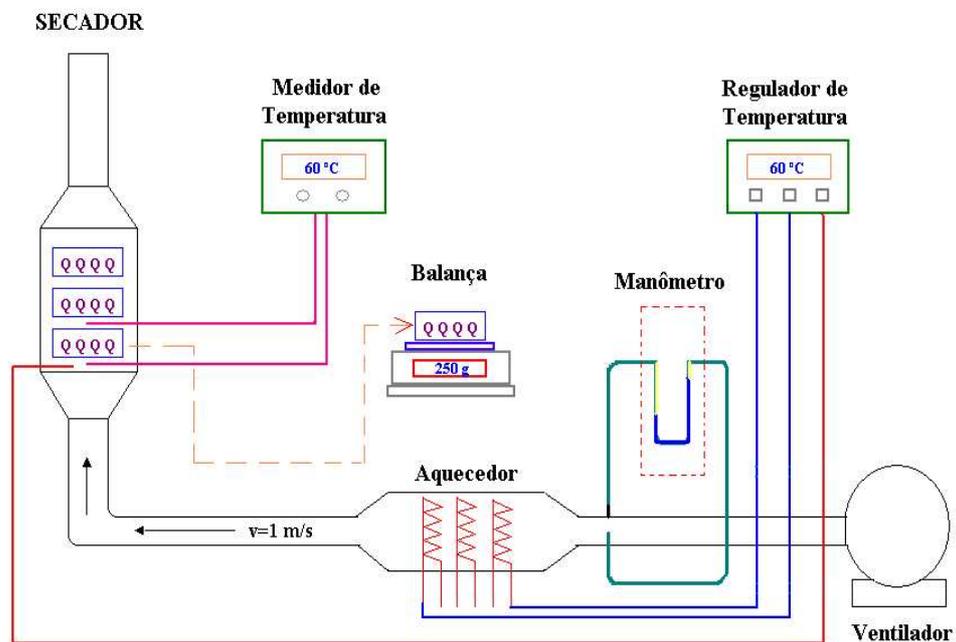
Os experimentos foram realizados em um secador de bandejas localizado na Planta Piloto do Laboratório de Engenharia de Processos DEA/FEA/UNICAMP, constituído por três seções básicas mostradas na Figura 5.1.: a) uma cabine vertical com portas independentes, onde eram colocadas as bandejas, b) um sistema de aquecimento, constituído por 3 resistências elétricas de 2.000 W acoplado a um controlador de temperatura conforme descrito por Medina (2003) e c) um sistema de ventilação com escoamento do ar forçado com velocidade de ar, na seção da secagem, de 1,0 m/s.

Antes do início de cada ensaio, o equipamento foi colocado em funcionamento nas condições de secagem (60°C e 1,0 m/s). A velocidade do ar quente no secador foi medida com um Anemômetro portátil de agulha marca Vane Anemometer 325 (Brasil) e com capacidade de 0 – 100 m/s. O fluxo de ar foi perpendicular ao leito das amostras.

Durante a secagem, duas bandejas foram usadas com aproximadamente 48 palitos de goiaba cada, dispostos lado a lado. Na primeira bandeja determinou-se a cinética de secagem através da pesagem do material em intervalos de tempo de 10 minutos até a primeira hora, 15 minutos até o término das primeiras 2 horas, 30 e 60 minutos até 9 horas de secagem. Na segunda bandeja, os palitos previamente pesados eram recolhidos do secador após 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas de secagem, pesados e acondicionados em recipientes hermeticamente fechados por 24 h, para a equalização da umidade. Após este período, determinou-se a

umidade, atividade de água, cor e propriedades mecânicas das amostras removidas do secador. Em todos os ensaios também foram avaliados as propriedades do produto fresco e pré-tratado como controles de processo.

Na segunda etapa, amostras com e sem tratamento osmótico foram submetidas à secagem por 3 e 4 h (tempo necessário para obter produtos com atividade de água entre 0,65 e 0,75) e submetidas à teste sensorial de aceitabilidade e preferência.



**Figura 5.1.** Esquema do secador de bandejas com fluxo de ar quente.

#### **5.2.4. Tratamento matemático da cinética de secagem**

Para o ajuste dos dados experimentais foi utilizado o modelo difusional, baseado na 2<sup>a</sup> Lei de Fick (Equação 5.3). Assumindo-se forma geométrica (z) de uma placa plana de espessura 2L, com conteúdo de umidade inicial uniforme, volume e difusividade constantes, transporte de massa unidimensional e resistência externa ao transporte de massa desprezível.

Utilizando as seguintes condições iniciais e de contorno:

$$Y(z,0) = 1$$

$$\left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$$

$$Y(L,t) = 0$$

Em que  $Y$  é a umidade adimensional  $= \left( \frac{X - X_{\infty}}{X_0 - X_{\infty}} \right)$ , e integrando ao longo de toda a espessura, obtém-se a equação 5.4 (Cranck, 1975), que descreve a variação da umidade adimensional ( $Y$ ) em função do tempo.

$$Y = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right) \quad (5.4)$$

Além do modelo difusional foram também utilizados os modelos exponencial e de Page, descritos nas equações 5.1 e 5.2, respectivamente.

Para a validação dos modelos foram calculados o coeficiente de regressão ( $R$ ), a porcentagem de confiança ( $P$ ) e o erro médio relativo ( $E$ ), que é definido como a diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (equação 5.5), sendo considerado preditivo o modelo que apresentar valores de  $E$  menores que 10% (LOMAURO *et al.*, 1985).

$$E(\%) = \frac{100}{N} \sum \frac{|M_{\text{exp}} - M_{\text{pred}}|}{M_{\text{exp}}} \quad (5.5)$$

Onde  $M_{\text{pred}}$  e  $M_{\text{exp}}$  representam os valores preditos pelo modelo e os obtidos experimentalmente, respectivamente, e  $N$  é o número de pontos experimentais. O cálculo desses parâmetros estatísticos foi realizado através dos pacotes Statistica v. 5.0 e Origin v. 5.0.

### **5.2.5. Determinação de umidade e atividade de água**

A umidade das amostras foi determinada pelo método gravimétrico (AOAC, 1996), e a atividade de água por leitura direta no higrômetro Aqualab, modelo CX-

02 - Decagon (USA) à 25°C, previamente calibrado com soluções salinas saturadas de MgCl<sub>2</sub>, NaCl, KCl e água deionizada com atividade de água de 0,328 (±0,002), 0,753 (±0,001), 0,843 (±0,003) e 1,000 (±0,003), respectivamente.

### **5.2.6. Determinação das propriedades mecânicas**

Ensaio de força-deformação foram realizados em palitos de goiaba osmodesidratados e secos utilizando texturômetro tipo Universal Testing Machine Modelo TA-XT2i (Stable Micro Systems). Os ensaios foram realizados a 25°C ± 1°C, com velocidade de compressão de 5 mm/s até 95% da sua altura inicial. A sonda empregada era em formato de dente de aço inoxidável tipo Volodkevich Bite Jaws HDP/VB, a fim de simular o corte do alimento pelos dentes. As curvas de força e de deformação foram efetuadas em função do tempo com leitura de 400 pontos por segundo. A partir dos dados obtidos foram calculados os parâmetros associados à textura do material no ponto de ruptura através das equações (2.1) e (2.2) apresentadas no capítulo II.

As medidas foram realizadas com 20 repetições para cada amostra devido aos grandes desvios observados neste tipo de análise, decorrentes da heterogeneidade da amostra.

### **5.2.7. Avaliação instrumental da Cor**

As variações de cor nas goiabas desidratadas a diferentes tempos de secagem e nas goiabas osmodesidratadas e secas por 4 horas foram avaliadas em espectrofotômetro de bancada, modelo Color Quest II, previamente calibrado conforme descrito no item 3.2.2.3 do capítulo III. O sistema de cores utilizado foi CIELAB, com leitura dos valores de L\* (luminosidade), a\* (índice de saturação verde-vermelho) e b\* (índice de saturação azul-amarelo). A fruta fresca sem tratamento foi considerada como amostra padrão.

As leituras foram realizadas em amostras escolhidas aleatoriamente. Foram acondicionados 12 palitos de goiabas em uma cuba de vidro, o conjunto formado representou uma amostra. Seis amostras para cada tratamento foram lidas, tomando-se o cuidado na disposição dos palitos na cuba, de forma a ter uma

leitura que incluísse toda a área dos palitos. Cada amostra foi lida três vezes, mudando a área de focalização do espectro para cada leitura.

### **5.2.8. Avaliação sensorial**

As goiabas osmodesidratadas e secas foram submetidas a testes sensoriais de ordenação e preferência, descritas por DUTCOSKY (1996). Para tanto, foram utilizados três tipos de amostras desidratadas: amostra seca por 4h sem pré-tratamento osmótico, amostra seca por 4h com pré-tratamento osmótico e amostra seca por 3h com pré-tratamento osmótico. A escolha dessas amostras possibilitou a observação da influência de dois parâmetros de processo: a existência de um pré-tratamento, com as amostras de 4h de secagem; e o tempo de secagem, com as amostras osmodesidratadas e secas por 3 e 4h.

Utilizou-se o teste de ordenação e preferência (ANEXO II). Foram apresentadas a cada julgador as amostras desidratadas (conforme descritos no parágrafo anterior) previamente codificadas e foi solicitado para que as ordenassem de acordo com a preferência e registrassem a sua opinião sobre cada amostra com relação aos atributos de aroma, cor, sabor e textura. Os testes foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Planejamento alimentar da Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, em cabines individuais com luz branca, e amostras codificadas aleatoriamente. Trinta e três consumidores não treinados, alunos e funcionários da Faculdade de Engenharia de Alimentos avaliaram os produtos.

### **5.2.9. Tratamento dos resultados**

A média dos resultados e o desvio padrão foram considerados nas determinações analíticas. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) para todos os resultados obtidos, utilizando-se o teste de Tukey com nível de significância de 5% a fim de detectar diferenças significativas entre as repetições e as amostras analisadas.

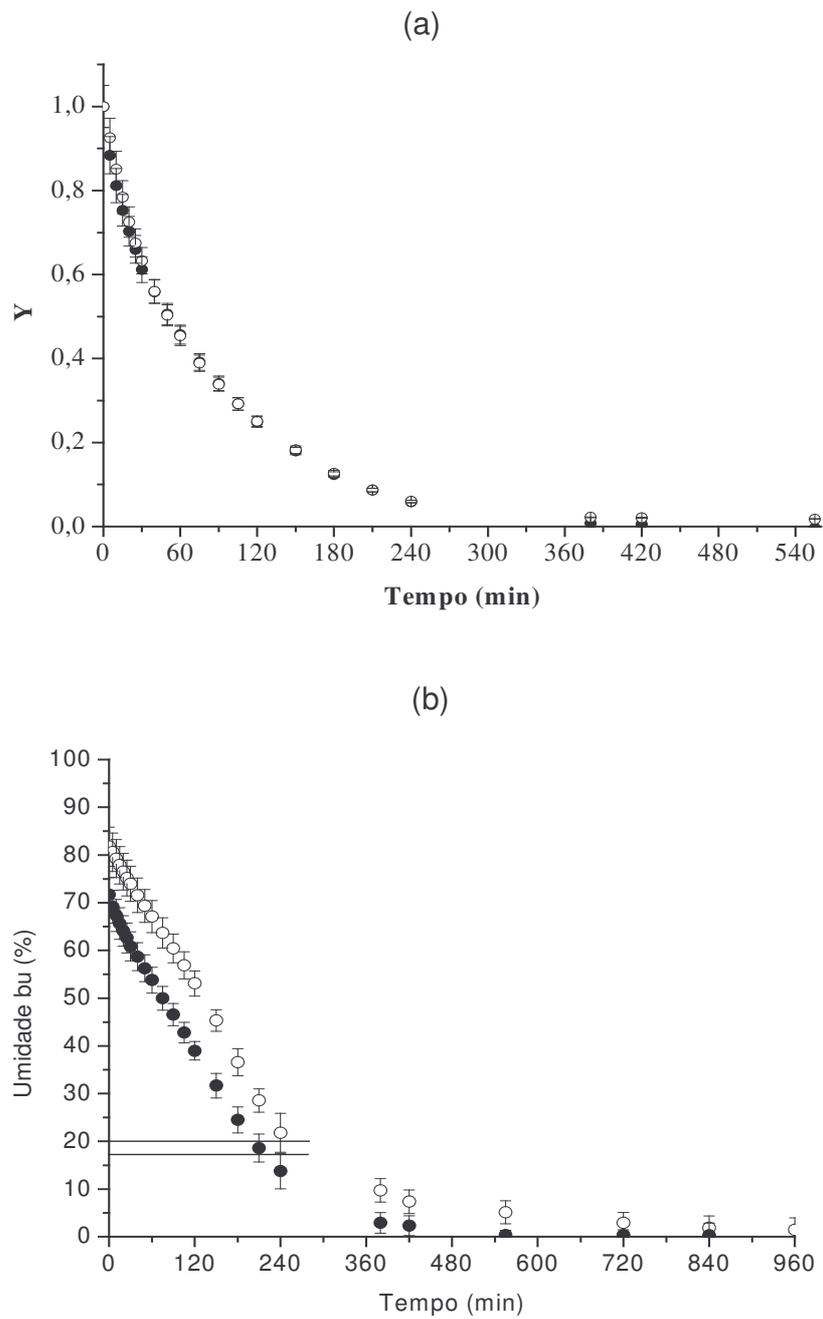
## 5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1. - Cinética de secagem

A Figura 5.2 a e b apresenta as curvas de secagem de goiaba *in natura* e osmodesidratada em palitos em termos adimensionais de umidade (Y) e umidade em base úmida em função do tempo, respectivamente. O período de secagem a taxa constante não foi observado. De fato, a secagem das frutas usualmente ocorre somente no período de taxa decrescente.

Pela Figura 5.2a, aparentemente a perda de umidade durante a secagem foi similar entre ambas amostras, não havendo influência significativa dos dados adimensionalizados, levando a crer que, independente do pré-tratamento, estas atingiram a condição de equilíbrio praticamente ao mesmo tempo (420 min). Entretanto, a Figura 5.2b, mostra que a umidade de 20% (umidade intermediária) foi alcançada entre 210 e 240 min em amostras pré-tratadas osmoticamente e em 240 min para amostras sem prévio tratamento. A umidade de equilíbrio para as amostras com e sem tratamento osmótico foi alcançado após 520 e 720 min, respectivamente.

Na secagem de goiabas em metades com e sem pré-tratamento osmótico, SANJINÉZ-ARGANDOÑA (1999), observou redução de mais de 50% do tempo de secagem em relação aos tempos gastos para a fruta fresca, para atingir um mesmo teor de umidade. Neste trabalho a redução do tempo de secagem foi menor, e se consideradas as repetições das cinéticas e os respectivos desvios-padrão, não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as amostras após 240 min de tratamento. Este comportamento pode ser explicado pelas diferentes formas de apresentação da fruta no momento da secagem. No trabalho de SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999), as amostras de goiaba submetidas à secagem estavam em metades, enquanto neste estudo as mesmas foram cortadas em tiras. A partir disso, fica evidente que a área de contato da amostra com o fluxo de ar quente é também um fator determinante da velocidade do processo de secagem. A fruta cortada em tiras apresenta uma área de contato muito maior, o que acabou provocando em um aumento significativo da velocidade de processo.



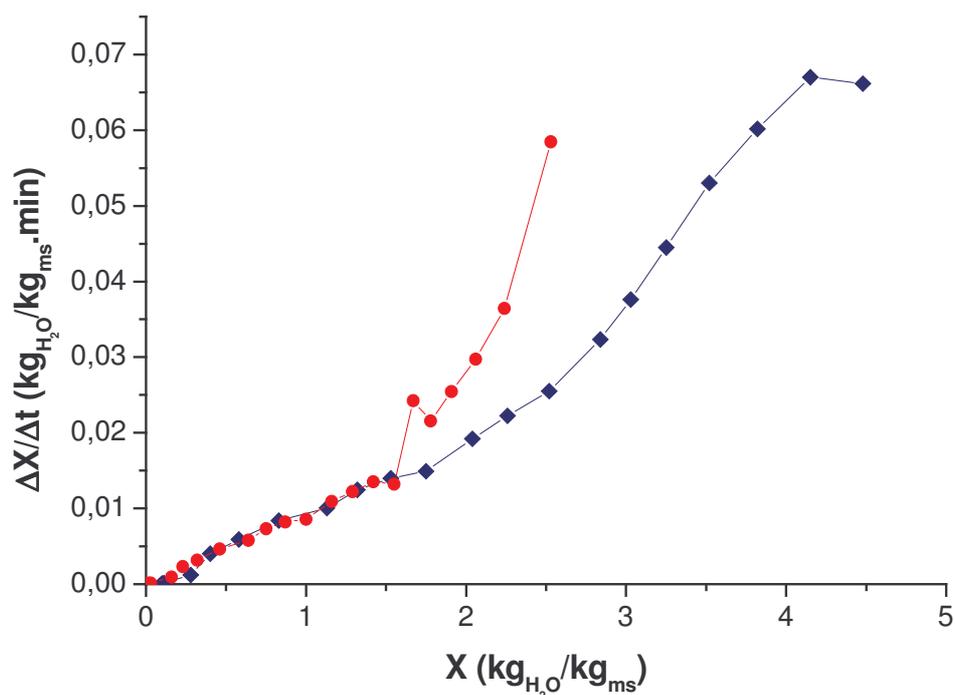
**Figura 5.2.** - Cinéticas de secagem de palitos de goiaba sem pré-tratamento (O) e com pré-tratamento osmótico (●). Umidade adimensional (a) e umidade em base úmida (b) em função do tempo.

EL-AOUAR (2001) na secagem de mamão pré-tratado por desidratação osmótica, também observou menores tempos de secagem para as amostras pré-tratadas, atingindo o equilíbrio em menor tempo quando comparadas com as amostras sem tratamento osmótico. AZOUBEL (2002) obteve comportamento semelhante na secagem de caju.

SENADEERA *et al.* (2003) estudaram a influência da geometria e do tamanho da amostra na secagem de vagem (forma cilíndrica), ervilha (esfera) e batata (placa). Os autores observaram maiores taxas de secagem para amostras de menor tamanho e difusividade efetiva maior para as geometrias consideradas de superfície infinita. Os autores atribuíram os resultados à influência da área superficial de contato e à pele que cobre as ervilhas, a qual atua como barreira à transferência de umidade durante o processo de secagem. Na secagem de cenouras cortadas em cubos de dimensões  $1\text{cm}^3$  e  $2\text{cm}^3$ , DOYMAZ (2004) observou comportamento similar. Amostras com menor dimensão alcançaram o equilíbrio cinético em menor tempo do que amostras maiores, 9 horas e 30 min e 16 horas de secagem a  $60^\circ\text{C}$ , respectivamente.

Para uma melhor visualização do comportamento da secagem, as taxas de secagem foram calculadas em função do conteúdo de umidade (Figura 5.3). Observa-se que apesar dos conteúdos de umidade inicial das amostras, serem diferentes em consequência do tratamento osmótico, o produto pré-tratado mostrou para um mesmo teor de umidade ( $2,5\text{ kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{ss}}$  ou 20%), maior taxa de secagem no início do processo (primeira fase) que a amostra *in natura*. Posteriormente, para conteúdos de umidade menores que  $1,3\text{ kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{ss}}$ , não houve diferença significativa entre as amostras pré-tratadas ou não. Nessa região, as taxas de secagem exibem um comportamento predominante de resistência interna, sendo desprezível a influência do açúcar. Este comportamento foi também observado por PARK *et al.* (2002) na secagem de pêras com e sem pré-tratamento osmótico.

Já THEMELIN *et al.* (1997) verificaram, no início da secagem, taxas mais altas em maçãs pré-tratadas do que em amostras frescas. Porém foram mais baixas na segunda fase, que compreende após 80 a 90% da desidratação até a duração final do processo, devido à impregnação da sacarose.



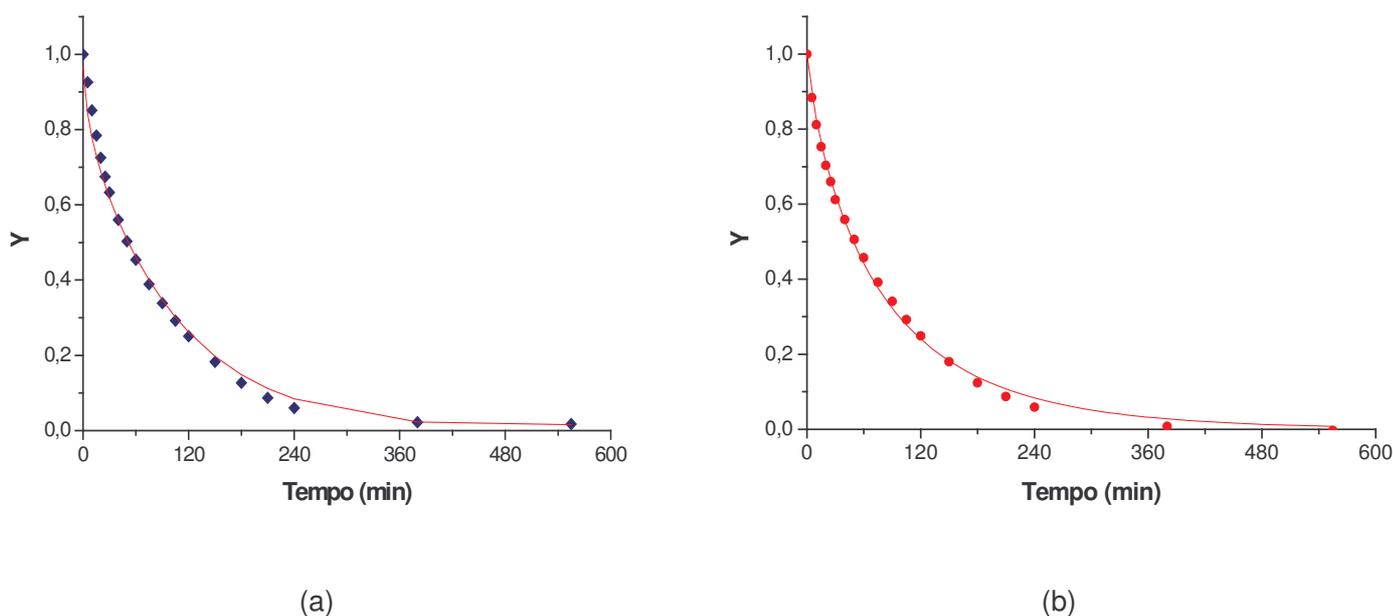
**Figura 5.3.** – Taxas de secagem de goiabas com pré-tratamento osmótico (●) e sem pré-tratamento (◆).

De acordo com PROTHON *et al.* (2003), para um mesmo conteúdo de umidade, produtos frescos desidratados encolhem mais do que produtos osmoticamente pré-tratados. Desta maneira, frutas com maior conteúdo inicial de sólidos apresentam menor colapso estrutural do tecido da fruta após a secagem. Assim, menor colapso estrutural é esperado em frutas impregnadas com açúcares e/ou biopolímeros quando estas são submetidas a pré-tratamentos anteriores à secagem.

### 5.3.2. Modelagem matemática da secagem

As Figuras 5.4 e 5.5 apresentam o ajuste dos modelos de Page e Fick para goiabas com e sem pré-tratamento osmótico.

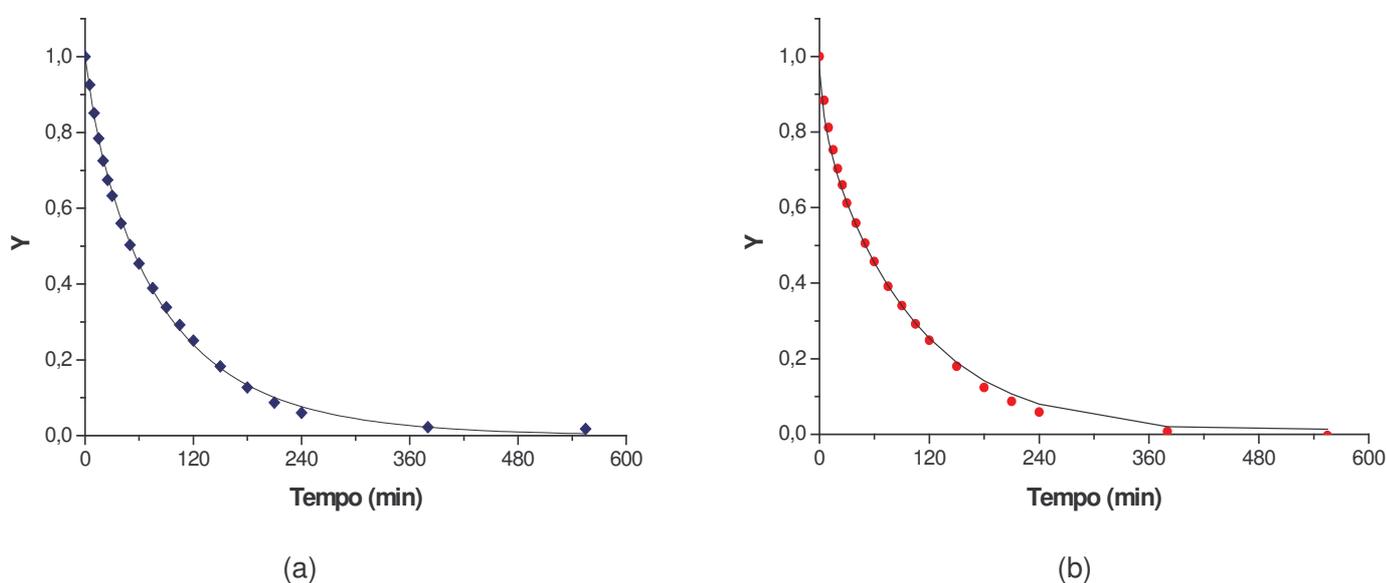
Os modelos aplicados forneceram ajustes com percentagem de variância superior a 99% independente do pré-tratamento. Entretanto, esperava-se que o ajuste de Fick, por considerar a geometria e tamanho das amostras fosse mais efetivo, porém, não houve diferença significativa entre os valores estimados e os experimentais quando comparados com os obtidos pelo modelo de Page. Isto sugere que, embora os modelos empíricos não forneçam informação operacional e os parâmetros calculados não tenham nenhum significado físico, é possível simular com precisão curvas de secagem o qual, desde um ponto de vista prático, pode ser bastante interessante.



**Figura 5.4.** - Curva de secagem a 60°C de palitos de goiaba sem pré-tratamento (a) e com pré-tratamento osmótico (b): dados experimentais (●) e valores estimados pelo modelo de Page (---).

A Tabela 5.2 apresenta os valores calculados para as constantes de secagem e de difusividade calculados a partir das equações 5.2 e 5.4.

Os parâmetros do modelo de Page forneceram valores diferenciados para as amostras pré-tratadas ( $K = 11,88 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ ) das amostras sem pré-tratamento ( $K = 8,16 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ ). Esses valores mostram que o parâmetro  $K$  é também função do conteúdo inicial de umidade. As amostras pré-desidratadas tiveram maior perda de água na fruta durante a desidratação osmótica.



**Figura 5.5.** - Curva de secagem a 60°C de palitos de goiaba sem pré-tratamento (A) e com pré-tratamento osmótico (b): dados experimentais (●) e valores estimados pela equação de fick (---).

Os valores obtidos para o parâmetro  $n$  do modelo de Page mostram leve dependência com o conteúdo de umidade inicial das amostras. Segundo KARATHANOS & BELESSIOTIS (1999), o valor de  $n$  aumenta quando as frutas são desidratadas com casca ou pele. Por outro lado, AZZOUZ *et al.* (2002) na secagem de uvas constataram que  $n$  é função da velocidade do ar de secagem e da umidade inicial do produto, enquanto que o parâmetro  $k$  é função da

temperatura de secagem e do conteúdo inicial de umidade. No caso das goiabas, as amostras foram tratadas sem casca e a uma mesma temperatura de secagem (60°C) não sendo possível observar essas diferenças.

Como mostrado na Tabela 5.2, o tratamento osmótico favoreceu à saída de água aumentando a difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ), sendo que os resultados obtidos pelo modelo exponencial e de Page mostraram a mesma tendência.

A ordem de grandeza dos coeficientes de difusão calculada neste estudo foi similar às encontradas na literatura para frutas. Na secagem de pêras com e sem tratamento osmótico a diferentes temperaturas e velocidades de ar de secagem, PARK *et al.* (2003), observaram menores coeficientes de difusão com o aumento da temperatura e da velocidade de ar de secagem em pêras sem prévio tratamento osmótico, porém, em pêras com tratamento osmótico, obtiveram maiores coeficientes de difusão. Os autores atribuíram este comportamento ao encolhimento e endurecimento da fruta durante a secagem, impedindo a migração da umidade, sendo maior em pêras desidratadas sem pré-tratamento osmótico. Os coeficientes de difusão variaram entre  $1,59 \times 10^{-10}$  a  $7,64 \times 10^{-10}$  para pêras secas sem tratamento osmótico e entre  $1,87 \times 10^{-10}$  e  $8,12 \times 10^{-10}$  para as frutas previamente osmodesidratadas. Uma compilação de coeficientes de difusão foi feita por PAVÓN-MELENDÉZ *et al.* (2002), sendo que os valores encontrados para diferentes frutas e vegetais (uvas, batatas, maçãs e cenouras) submetidas à secagem a 60°C, encontrava-se na faixa de  $2,2 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s a  $9,4 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s.

**TABELA 5.2.** - VALORES DE K, N,  $D_{EF}$ ,  $R^2$  E ERRO RELATIVO MÉDIO (E) PARA OS MODELOS EXPONENCIAL, PAGE E DIFUSIONAL DE AMOSTRAS SECAS COM E SEM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO

Amostra	Modelo Exponencial			Modelo de Page				Equação de Fick		
	K (10 <sup>4</sup> ) (s <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	E (%)	K(10 <sup>4</sup> ) (s <sup>-1</sup> )	n	R <sup>2</sup>	E (%)	D <sub>ef</sub> (10 <sup>-10</sup> ) (m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	E (%)
Com DO	2,24	0,982	3,46	11,88	0,80	0,998	1,24	6,18	0,991	0,42
Sem DO	2,19	0,990	2,67	8,16	0,84	0,999	0,76	5,73	0,989	0,75

DO: Desidratação osmótica

Das cinéticas de secagem obteve-se o tempo de secagem (4 horas) requerido para que as goiabas osmodesidratadas atingissem 18 a 20% de umidade ( $a_w \approx 0,75$ ). No entanto, durante a secagem das amostras a tempo fixo (4 horas), observou-se que as mesmas apresentavam umidade de 12 a 15%, inferior a 18% ( $a_w \approx 0,65$ ). Provavelmente, esta diferença foi provocada pelas sucessivas vezes que o secador teve que ser aberto para a retirada das amostras, durante a cinética de secagem, influenciando no tempo de processo.

Devido a esta constatação, avaliaram-se as alterações de cor e textura a diferentes tempos de secagem a fim de verificar o grau de comprometimento desses atributos. A avaliação final das características físicas, químicas e sensoriais do produto foi realizada para dois tempos de secagem 3 e 4 horas.

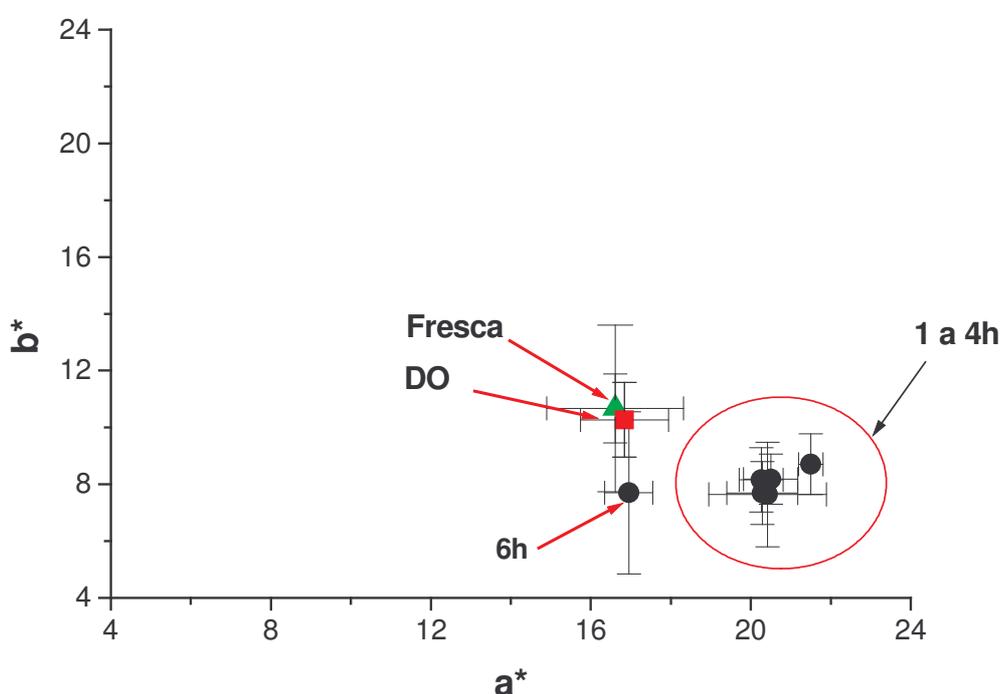
### **5.3.3. Avaliação da cor nas goiabas osmodesidratadas e secas**

Os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  para amostras de goiaba in natura, desidratada osmoticamente e osmodesidratada e seca são mostrados na Figura 5.6. A distribuição espacial dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  indica que o pré-tratamento osmótico acentua ligeiramente a coloração vermelha em consequência da impregnação do açúcar na secagem.

Nas amostras osmodesidratadas e secas por 1, 2, 3 e 4 horas de secagem, os valores de  $a^*$  aumentaram e os de  $b^*$  diminuíram com relação aos valores para a fruta fresca e pré-tratada. O aumento de  $a^*$  durante a secagem pode ser atribuída à concentração da massa sólida pela evaporação da água durante a secagem, e conseqüentemente à concentração dos constituintes da fruta (carotenóides, entre outros) o que implica no aumento de  $a^*$ . Por outro lado, o escurecimento não enzimático dos açúcares impregnados nas amostras osmodesidratadas pode também influenciar a cor, especialmente a temperaturas elevadas de processo (KROKIDA *et al.*, 2000a).

Após 6 horas de secagem, a intensidade da cor vermelha diminuiu. É provável que devido ao tempo de exposição e à velocidade do ar de secagem, haja ocorrido degradação do licopeno (SHI & LE MAGUER, 2000; PÉREZ-

GALVEZ *et al.*, 2004). Porém, SHI *et al.* (1999) comprovaram que a desidratação osmótica a baixas temperaturas ajuda a manter a quantidade de licopeno devido ao açúcar presente que serve como barreira para o oxigênio, diminuindo assim a oxidação dos carotenóides. É provável então que, conforme relatado por ZANONI *et al.* (1999) no estudo com tomates, a velocidade da reação de Maillard aumente com o tempo de processamento, fazendo com que um produto tipicamente vermelho, se torne gradualmente vermelho-tijolo, e depois marrom.



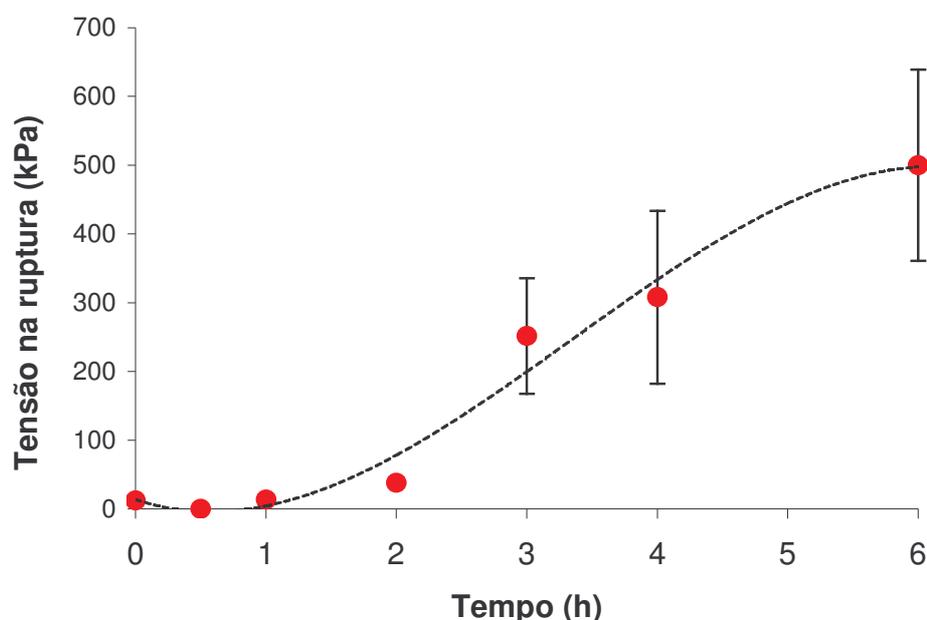
**Figura 5.6.** - Distribuição espacial dos parâmetros de cor  $a^*$  e  $b^*$  das amostras de goiaba fresca (▲), pré-desidratada - DO(■) e pré-desidratadas e secas (●) por 1, 2, 3, 4 e 6 horas a 60°C.

Entretanto, a importância da Figura 5.6 reside em mostrar a intensidade de cor vermelha da fruta pré-tratada e seca, pois este atributo favorece a aceitabilidade do produto, visto que os consumidores, num primeiro momento, apreciam os alimentos pela coloração. Assim, no espectro visível, as goiabas pré-tratadas e secas até 4 horas apresentaram coloração vermelha mais intensa; com

6 horas de tratamento a cor vermelha é menos intensa e menos desejável. Estes resultados sugerem que os produtos secos mantiveram sua coloração característica e, portanto, teriam alta aceitabilidade por parte dos consumidores.

#### 5.3.4. Avaliação da textura nas goiabas osmodesidratadas e secas

A força necessária para comprimir uma amostra de forma a causar uma deformação irreversível (ruptura) é tomada como índice de dureza e pode ser apresentada sob o valor calculado de tensão máxima na ruptura. Do exposto, os valores de tensão na ruptura para amostras osmodesidratadas e secas são mostrados na Figura 5.7.



**Figura 5.7.** - Valores médios de tensão na ruptura em amostras de goiabas pré-tratadas osmoticamente e secas por 1, 2, 3, 4 e 6 horas a 60°C (●).

Embora vários trabalhos tenham mostrado que a desidratação osmótica favorece a maciez e plasticidade do tecido (MAESTRELLI *et al.*, 2001; SANJINEZ-ARGANDOÑA *et al.*, 2002; RODRIGUEZ *et al.*, 2003), durante a secagem a remoção de água promove a formação de um concentrado de sólidos amorfos na superfície que resulta num endurecimento do tecido e conseqüentemente em

---

maior rigidez do produto seco (LEWICKI & LUKASZUK, 2000). Assim, observa-se que a tensão na ruptura ou dureza das goiabas secas com pré-tratamento osmótico (Figura 5.7), aumenta com o tempo de secagem. Isto mostra a influência do conteúdo de umidade da fruta na rigidez do produto, pois amostras com menor conteúdo de umidade são mais resistentes à compressão.

Entretanto, frutas osmodesidratadas e secas resultam em um material mais macio e plástico do que a fruta *in natura* seca (observados sensorialmente). NSONZI & RAMASWAMY (1998) afirmam que amoras secas com pré-tratamento osmótico são muito mais macias do que aquelas secas sem pré-tratamento.

Neste estudo, não foi possível determinar, instrumentalmente, os parâmetros de força e deformação na ruptura das amostras secas sem tratamento osmótico, dado que nestas condições as goiabas mostraram formação de bolhas de ar internas, levando a uma grande heterogeneidade na textura. Além disso, tais amostras exibiram um comportamento bastante diferenciado em relação à textura, uma vez que esta foi característica de produtos crocantes, enquanto que as tratadas osmoticamente apresentaram textura borrachenta. Este foi um fator adicional que dificultou a identificação do pico máximo relativo ao ponto de ruptura.

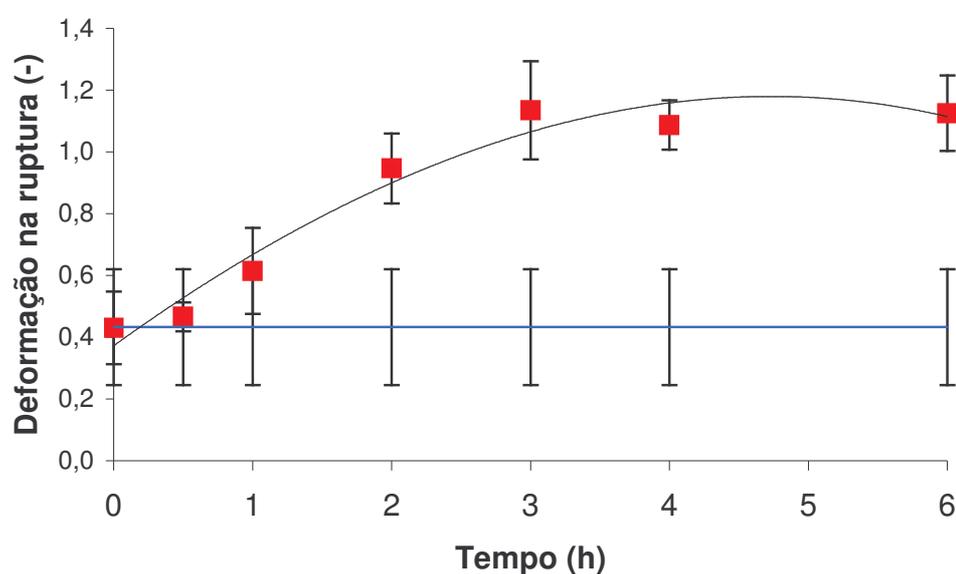
Na Figura 5.8 são mostrados os valores médios da deformação na ruptura das amostras pré-tratadas e secas por 1, 2, 3, 4 e 6 horas.

As amostras pré-tratadas osmoticamente e secas apresentaram maior resistência à deformação que as amostras frescas. Embora estas últimas não tenham sido submetidas à secagem, auxiliam na avaliação de deformação na ruptura. LEWICKI & LUKASZUK (2000), na secagem de cubos de maçã osmodesidratados verificaram que as amostras pré-tratadas e secas foram mais resistentes à deformação que maçãs desidratadas sem pré-tratamento.

A deformação pode ser relacionada com a elasticidade do material e, portanto, quanto maior for o valor deste parâmetro, mais elástico será o material em questão. A goiaba fresca apresentou menores valores iniciais de deformação na ruptura, devido à baixa alteração do estado da fruta (Figura 5.8). No caso das

amostras osmodesidratadas, o incremento de solutos na fruta parece influenciar na formação de um material mais elástico e, com a secagem, fornecer um produto mais borrachento, o que leva a obter maiores deformações.

Assim, a partir dos resultados obtidos pode-se concluir que a secagem de goiabas osmodesidratadas levou a produtos mais duros e elásticos, sendo que esta última propriedade não se alterou após 3 h de secagem, quando comparados com a fruta fresca sem nenhum tratamento.



**Figura 5.8.** - Valores médios de deformação máxima de amostras de goiaba fresca (linha contínua) e goiabas pré-tratadas osmoticamente e secas por 1, 2, 3, 4 e 6 horas a 60°C (■).

O amaciamento do tecido da fruta pode também ser provocado pela lixiviação dos íons de cálcio durante o tratamento osmótico (PROTHON, *et al.*, 2001). Entretanto, neste estudo não se observaram diferenças significativas nos valores obtidos para a goiaba osmodesidratada antes da secagem e a fresca, sendo mais importante a influência do teor de umidade no comportamento das propriedades mecânicas da fruta com a secagem. Porém, o material osmodesidratado é mais susceptível à deformação, do que o produto seco sem pré-tratamento osmótico (LEWICKI & LUKASZUK, 2000).

KROKIDA *et al.* (2000a) observaram que a desidratação osmótica provoca um aumento da natureza viscosa do produto e uma diminuição de sua elasticidade, tornando-o mais plástico, e fazendo com que o material tolere maior deformação antes de se romper. Em outro trabalho desenvolvido com bananas e maçãs pelos mesmos autores (KROKIDA *et al.*, 2000b), detectou-se que quanto mais intensa é a desidratação osmótica, maior é o aumento da deformação na ruptura.

O elevado desvio-padrão, nos valores calculados, é difícil de ser evitado devido à heterogeneidade das amostras, já que as propriedades mecânicas de um material celular são determinadas pela estrutura e pelos constituintes de sua parede celular, os quais são afetados pelas condições de processamento. Portanto, pequenas variações no nível de maturação, influenciam nos resultados e conseqüentemente aumentam o desvio-padrão entre as amostras (PELEG 1979; LEWICKI & LUKSZUK, 2000). Porém, apesar do elevado desvio padrão da tensão e da deformação na ruptura, pode-se verificar claramente o comportamento desses valores com o tempo de secagem.

Outro ponto importante a ser citado é o fato de que os resultados obtidos das goiabas desidratadas em soluções reutilizadas e posteriormente secas foram bastante próximos, de forma que o reaproveitamento da solução não influenciou a textura do produto final.

### **5.3.5. Características físicas e químicas da goiaba osmodesidratada e seca**

Na Tabela 5.3 são apresentados os valores médios da atividade de água, umidade, acidez e açúcares totais para goiabas desidratadas osmoticamente e secas por 3 e 4 horas.

A acidez titulável e os açúcares totais, entre as amostras osmodesidratadas e secas em ambos tempos, não diferiram significativamente entre si. Entretanto, a umidade e a atividade de água das amostras secas por 3 h foram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) maiores que as amostras submetidas à secagem por 4 h, o que era esperado devido à evaporação da água durante o processo. Assim, amostras

osmodesidratadas por 4 horas poderiam ser conservadas por um período mais prolongado do que as amostras secas por 3 horas.

**TABELA 5.3.** - VALORES MÉDIOS DE ATIVIDADE DE ÁGUA (AW), UMIDADE, AÇÚCARES TOTAIS E ACIDEZ TITULÁVEL DE AMOSTRAS RESULTANTES DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM POR 3 HORAS E 4 HORAS (DADOS OBTIDOS A PARTIR DAS ANÁLISES DOS RECICLOS).

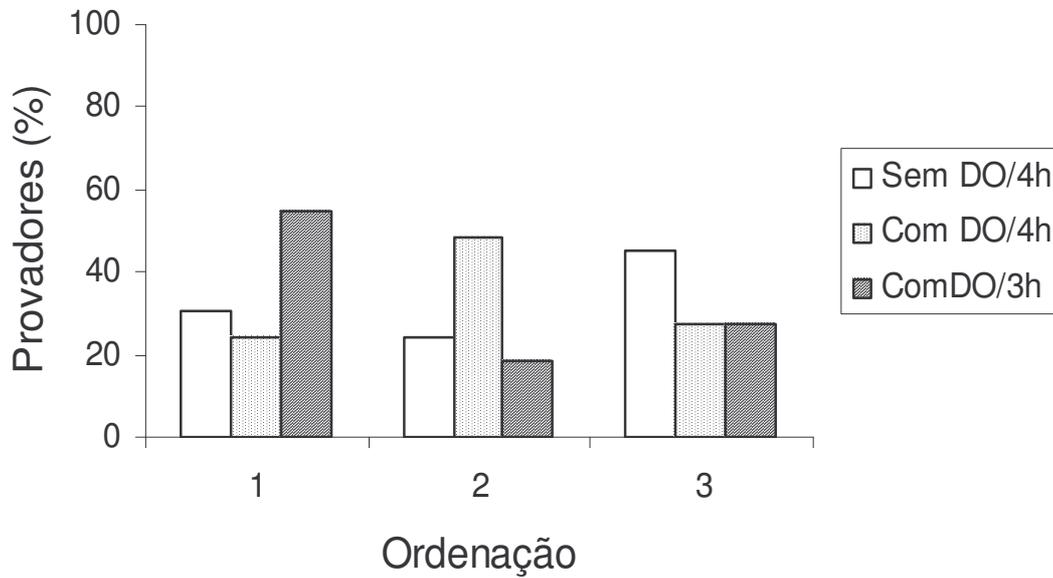
<b>Análise</b>	<b>3 h de secagem</b>	<b>4 h de secagem</b>
Atividade de água	0,735 ± 0,001	0,649 ± 0,078
Umidade %	18,13 ± 1,21	14,02 ± 2,66
Açúcares totais %	39,92 ± 0,3	38 ± 0,4
Acidez titulável %	3,0 ± 0,4	3,4 ± 0,2

### **5.3.6. Avaliação sensorial do produto osmodesidratado e seco**

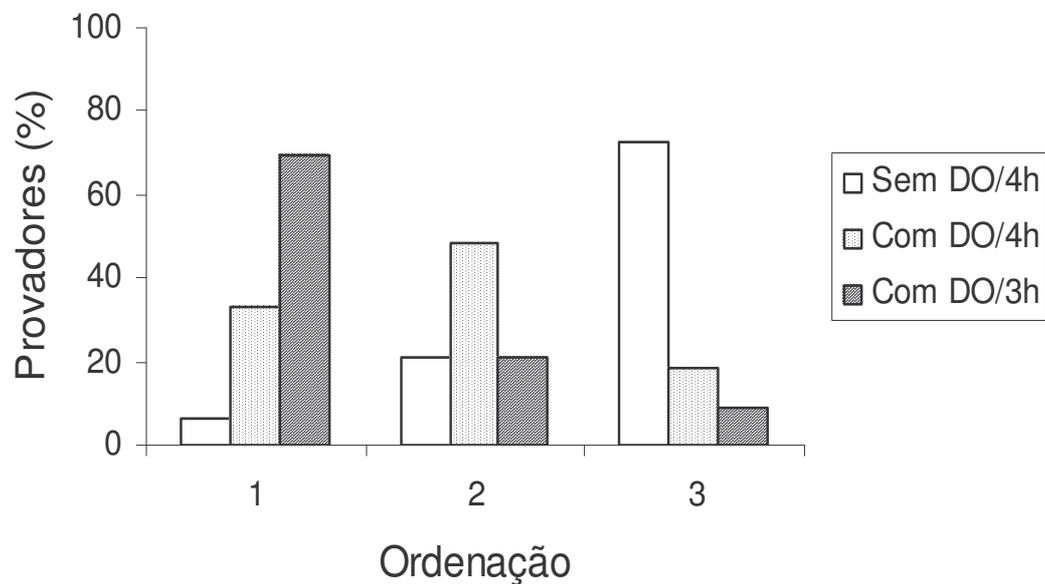
As Figuras 5.9 a 5.12 apresentam os resultados sensoriais de ordenação e preferência de goiabas secas por 4 horas com e sem pré-tratamento osmótico e goiabas secas por 3 horas com prévio tratamento.

Nas Figuras 5.9 e 5.10 observa-se que, tanto no atributo aroma quanto no atributo cor, as amostras osmodesidratadas e secas por 3 horas obtiveram a preferência dos provadores, tendo sido consideradas as de coloração e aroma mais intensos.

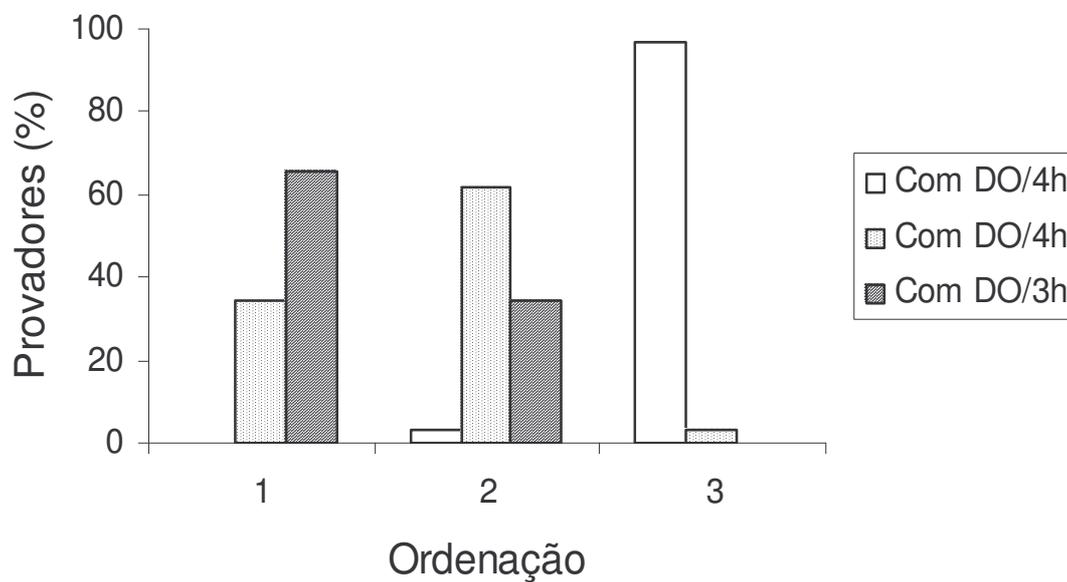
Nos atributos doçura e textura (Figuras 5.11 e 5.12) os provadores consideraram as amostras com pré-tratamento osmótico mais doces e macias, como era esperado. Entretanto, as amostras secas por três horas, foram ainda as mais preferidas e avaliadas como produto mais doce e mais macio. Deve-se observar que os consumidores correlacionaram maior maciez do produto às goiabas que apresentaram maior elasticidade (maior deformação na ruptura), demonstrando a correlação entre avaliação instrumental e sensorial.



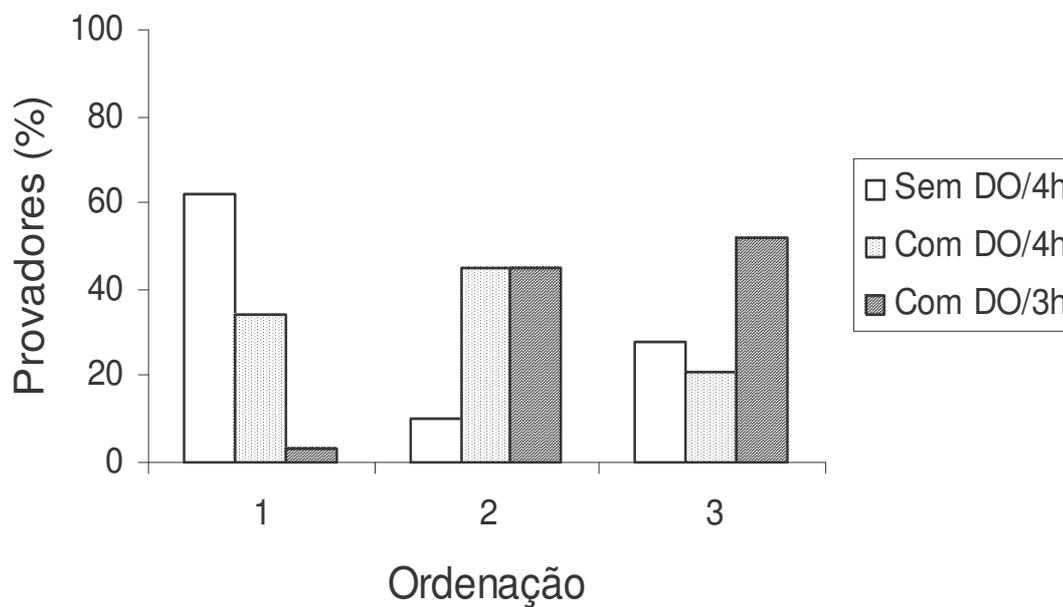
**Figura 5.9.** - Teste sensorial de comparação/ordenação para o atributo *aroma*. Ordenação: 1- Mais intenso; 3- Menos intenso.



**Figura 5.10.** - Teste sensorial de comparação/ordenação para o atributo *cor*. Ordenação: 1- Mais intensa; 3- Menos intensa.



**Figura 5.11.** - Teste sensorial de comparação/ordenação para o atributo *doçura*. Ordenação: 1- Mais doce; 3- Menos doce.



**Figura 5.12.** - Teste sensorial de comparação/ordenação para o atributo *textura*. Ordenação: 1- Mais dura; 3- Menos dura.

É interessante notar que os testes de análise sensorial mostraram a percepção do consumidor com relação à influência do tempo de processamento sobre a qualidade do produto final, pois as amostras secas por três horas foram predominantemente melhor aceitas do que aquelas processadas por 4 horas. Entretanto, ambas foram preferidas (ordenação 1 = mais intenso ou mais doce) que a amostra seca sem tratamento osmótico.

Estas observações também foram feitas por FALADE *et al.* (2003), na secagem de fatias de maçã osmodesidratadas em soluções de sacarose de 52, 60 e 68°Brix, pois obtiveram boa aceitação sensorial dos produtos osmodesidratados e secos, sendo que as amostras desidratadas em concentrações de solução mais altas foram mais preferidas. Em termos de cor, sabor e aceitação global não foram detectadas diferenças significativas entre as amostras osmodesidratadas e secas.

A preferência sensorial por produtos secos com prévio tratamento osmótico também foi verificada por ALVES (2003) na secagem de acerola pré-tratada em soluções binárias de água-sacarose e soluções ternárias de água-sacarose-cloreto de sódio, obtendo melhor aceitação em produtos osmodesidratados em solução binária, e secos a 50 e 70°C.

Um trabalho com fatias de kiwi osmodesidratadas em soluções binárias e ternárias de sacarose e ácido cítrico, e submetidas à secagem com ar quente a 50°C, mostrou que o tratamento osmótico diminuiu a acidez da fruta e melhorou a aceitação do produto quando comparado com o fruto seco sem prévio tratamento (ALLAEDDINI & DJOMEH, 2004).

## 5.4. CONCLUSÕES

Goiabas pré-desidratadas osmoticamente e secas alcançaram a umidade de aproximadamente 20% (bu) em 180 min e as goiabas secas sem pré-tratamento em 240 min de secagem. A influência da desidratação osmótica e da área de contato foi observada no tempo de secagem.

A taxa de secagem foi maior para a amostra osmodesidratada no início da secagem apresentando um leve aumento no coeficiente de difusão efetiva. Os

modelos de Page e de Fick proporcionaram um bom ajuste, independente da condição do pré-tratamento. Em 3 horas de secagem foram obtidos produtos com atividade de água de aproximadamente 0,75 e em 4 horas produtos com 0,65.

A desidratação osmótica afetou significativamente a cor das goiabas favorecendo a intensidade da cor vermelha como resultado da concentração dos pigmentos, sugerindo o efeito protetor da desidratação osmótica. Além disso, o efeito da impregnação dos açúcares durante o processo osmótico aumentou a elasticidade do produto influenciando na maciez do produto final. As goiabas osmodesidratadas e secas foram consideradas sensorialmente com melhor cor e aroma, mais doces e macias do que a goiaba seca sem pré-tratamento o que leva a concluir que a desidratação osmótica prévia à secagem é fator determinante na qualidade do produto final.

## 5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J.A. Quality Measurement of Fruits and Vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v.15, p.207-225, 1999.

ALLAEDDINI, B. & DJOMEH, Z.E. Formulation and quality improvement of dried kiwifruit slices using an osmotic pre-treatment. **Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS 2004)**, v.C, p.2127-2132, 2004

ALVAREZ, C.A.; AGUERRE, R.; GOMEZ, R.; VIDALES, S.; ALZAMORA, S.M. e GERSCHENSON, L.N. Air dehydration of strawberries: effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.167-178, 1995.

ALVAREZ, M.D.; SAUNDERS, D.E.J.; VINCENT, J.F.V.; JERONIMIDIS, G. An engineering method to evaluate the crisp texture of fruit and vegetables. **Journal of Texture Studies**, v.31, p.457-473, 2000.

ALVES, D.G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. Campinas, SP: 2003. 149p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

ASSOCIATION OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS (AOAC), 1996. Cap. 37 – Fruits and Fruit products- **Association of Official Analytical Chemists**, 17<sup>th</sup> ed., Arlington, Virginia, U.S.A. 1298 p.

AZOUBEL, P.M. **Influência de pré-tratamentos na obtenção de produtos secos do caju (*Anacardium occidentale* L.)**. Campinas, 2002. 136p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

- AZZOUZ, S.; GUIBAN, A.; JOMAA, W. e BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, v.55, p.323-330, 2002.
- CALVO, C. e DURÁN, L. Propiedades Físicas II – Ópticas y Color. In:122 CITED-Instituto Politécnico Nacional. **Temas en Tecnología de Alimentos**, v.1, Mexico, Ed: José Miguel Aguilera, 1997, v.1, p261-288.
- COSTELL, E.; FISZMAN, S.M. e DURÁN, L. Propiedades Físicas I - Reología de sólidos y textura. In: CITED-Instituto Politécnico Nacional. **Temas en Tecnología de Alimentos**, v.1, Mexico, Ed: José Miguel Aguilera, 1997, v.1, cap. 6 p.214-259, 1997.
- CRANK, J. **Mathematics of Diffusion**. 2<sup>a</sup> ed. Oxford: Claredon Press, 1975. 414p.
- DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**, v.61, n.1, p.359-364, 2004.
- DOYMAZ, I. e PALA, M. The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grappes. **Journal of Food Engineering**, v.52, n.1, p.413-417, 2002.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996. 123p.
- EL-AOUAR, A.A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (Carica papaya L.)**. Campinas, 2001. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- EL-AOUAR, A.A.; AZOUBEL, P.M. e MURR, F.E.X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (Carica papaya L.). **Journal of Food Engineering**, v.59, n.1, p.85-91, 2003.
- ERLE, U. e SCHUBERT, H. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.193-199, 2001.
- FALADE, K. O.; AKINWALE, T. O.; ADEDOKUN, O. O. Effect of drying methods on osmotically dehydrated cashew apples. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**. v., p., 2003.
- GRABOWSKI, S.; MARCOTTE, M.; POIRIER, M. e KUDRA, T. Drying characteristics of osmotically pretreated cranberries-Energy and quality aspects. **Drying Technology**, v.20, n.10, p.1989-2004, 2002.
- HERNANDEZ, J.A.; PAVÓN, G. e GARCÍA, M.A. Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food-drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v.45, p.1-10, 2000.
- ISLAM, M.N. e FLINK, L.N. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. **Journal Food Technology**, v.7, p.387-403, 1982.

KARATHANOS, V.T. e BELESSIOTIS, V.G. Application of a thinlayer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.74, n.4, p.355-361, 1999.

KARATHANOS, V.T. e KOSTAROPOULOS, A. E. Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, v.13, n.5-7, p.1503-152, 1995.

KIM, S.; PARK, J.; HWANG, I.K. Composition of main carotenoids in Korean red pepper (*Capsicum annuum*, L.) and changes of pigment stability during the drying and storage process **Journal of Food Science**, v.69, n.1, p.C39-C44, 2004.

KROKIDA, M.K; KARATHANOS, V.T. e MAROULIS, Z.B. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. **Drying Technology**, v.18 n.4 e 5, p.937-950, 2000a.

KROKIDA, M.K; KARATHANOS, V.T. e MAROULIS, Z.B. Effect of osmotic dehydration on viscoelastic properties of apple and banana. **Drying Technology**, v.18, p.951-966 2000b.

KROKIDA, M.K.; KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B. e MARINOS-KOURIS, D. Drying related properties of apples. **Drying Technology**, v.18, p.1251-1267, 2000c.

LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M. e BARTOLU, C.C.L. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. **Journal of Food Science**, v.50, p.1217-1219, 1985.

LEWICKI, P.P. e LUKASZUK, A. Effect of Osmotic Dewatering on Rheological Properties of Apple Subjected to Convective Drying. **Journal of Food Engineering**, v.45, p.119-126, 2000.

LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S. e LABUZA, T.P. Moisture transfer properties of dry and semimoist food. **Journal of Food Science**, v.50, p.397-400, 1985.

MAESTRELLI, A.; SCALZO, R.L.; LUPI, D.; BERTOLO, G. e TORREGGIANI, D. Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv *reticulatus* Naud.). **Journal of Food Engineering**, v.49, p.255-260, 2001.

MEDINA-VIVANCO, M.L. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. Campinas, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

NIETO, A.; CASTRO, M.A. e ALZAMORA, S.M. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v.50, p.175-185, 2001.

NSONZI, F. e RAMASWAMY, H.S. Quality evaluation of osmo-convective dried blueberries. **Drying Technology**, v.16, p.705-723, 1998.

PARK, K.J.; BIN, A. e BROD, F.P.R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.56, p.97-103, 2003.

- PAVÓN-MELENDEZ, G.; HERNÁNDEZ, J.A.; SALGADO, M.A. e GARCÍA, M.A. Dimensionless análisis of the simultaneous heat and mass transfer in food drying. **Journal of Food Engineering**, v.51, p.347-353, 2002.
- PELEG, M. Evaluation by Instrumental Methods of the Textural Properties of Some Tropical Fruits. A Review. **Journal of Food Studies**, v.10, p.4 - 65, 1979.
- PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ D. e MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. Changes in the carotenoid metabolism of capsicum fruits during application of modeled slow drying process for paprika production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.518-522, 2004.
- PIOTROWSKI, D.; LENART, A. e WARDZYNSKI, A. Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.519-525, 2004.
- PONS, M. e FISZMAN, S.M. Instrumental Texture Profile Analysis with Particular Reference to Gelled Systems. **Journal of Texture Studies**, v.27, p.597-694, 1996.
- PROTHON, F.; AHRNÉ, L.M.; FUNEBO, T.; KIDMAN, S.; LANGTON, M. e SJÖHOLM, I. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology**, v.34, n.2, p.95-101, 2001.
- PROTHON, F.; AHRNE, L.; SJOHOLM, I. Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: A critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.43, n.4, p.447-479, 2003.
- RAMASWAMY, H.S e NSONZI, F. Convective-Air Drying Kinetics of Osmotically Pre-treated Blueberries. **Drying Technology**, v.16, p.743-759, 1998.
- RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value food: a review. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.311–319, 2001.
- RODRIGUEZ, T.V.; ROJAS, A.M.; CAMPOS, C.A.; GERSCHENSON, L.N. Effect of osmotic dehydration on the quality of air-dried *Porphyra*. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology** v.36, p.415-422, 2003.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J. **Desidratação de goiaba (*Psidium guajava* L.) por imersão e secagem**. 1999. 102p. Campinas: Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.; NISHIYAMA, C. e HUBINGER, M.D. Qualidade de melão osmoticamente desidratado em soluções de sacarose com adição de ácidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.12, p.1803-1810, 2002.
- SENADEERA, W.; BHANDARI, B.R.; YOUNG, G. e WIJESINGHE, B. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. **Journal of Food Engineering**, v.58, p.277-283, 2003.

SHARMA, K.D.; SETHI, V. e MAINI, S.B. Osmotic dehydration in apple: influence of variety, location and treatment on mass transfer and quality of dried rings. **Acta Alimentaria**, v.27, p.245-256, 1998.

SHI J.; LE MAGUER, M.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A. e NIEKAMP, F. Lycopene Degradation and Isomerization in Tomato Dehydration. **Food Research International**, v. 32, p.15–21, 1999.

SHI, J. e LE MAGUER, M. Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.40, n.1, p.1-42, 2000.

SIMAL, S.; FEMENEIA, A.; GARAU, M.C. e ROSSELLÓ, C. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. **Journal of Food Engineering**, v.61, n.1, p.359-364, 2004.

SIMAL, S.; ROSSELLÓ, C. e MULET, A. Drying of shrinking cylinder-shaped bodies. **Journal of Food Engineering**, v.37, p.423-435, 1998.

SZYMCZAK, J.A.; PLOCHARSKY, W.J. e KONOPACKA, D. The Influence of Repeated use of Sucrose Syrup on the Quality of Osmo-convectively Dried Sour Cherries. **Drying'98 - Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Drying Symposium**, v.A, p.895-902, 1998.

THEMELIN, A.; RAOULT-WACK, A.L.; LEBERT, A. e DANZRT, M. Multicriteria Optimization of Food Processing Combining Soaking Prior to Air Drying. **Drying Technology**, v.15, n.9, p.2263-2279, 1997.

TORREGGIANI, D. e BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structure effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001.

UDDIN, M.S. e HAWLADER, M.N.A. Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.14, p.375-390, 1990.

ZANONI, B.; PERI, C.; NANI, R. e LAVELLI, V. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. **Food Research International**, v.31, n.5, p.395-401, 1999.

## **CAPITULO VI - AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO DE CAROTENÓIDES TOTAIS E DO ÁCIDO ASCÓRBICO EM GOIABAS OSMOTICAMENTE DESIDRATADAS E SECAS**

### **RESUMO**

Neste capítulo, estudaram-se as retenções do ácido ascórbico e de carotenóides totais em goiabas osmodesidratadas e submetidas à secagem com e sem prévio tratamento osmótico. As goiabas osmodesidratadas em soluções de sacarose, reutilizadas por 20 vezes em sistema semicontínuo, apresentaram retenção de 83,27% de vitamina C e de 88,85% de carotenóides totais, não sendo observadas diferenças significativas entre os ciclos de reuso da solução. O efeito benéfico e protetor do pré-tratamento osmótico foi observado durante a secagem a 60 °C, sendo que as goiabas osmodesidratadas apresentaram ao final do processo (360 minutos), retenção de 20 a 35% de vitamina C e 66 a 70% de carotenóides. Em goiabas secas sob as mesmas condições, sem pré-tratamento osmótico, foi observada degradação total de vitamina C e retenção de 25% dos carotenóides totais.

## 6.1. INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos tem surgido um grande interesse pelo valor nutricional dos alimentos com a finalidade de entender a contribuição individual que cada produto alimentício aporta às necessidades nutricionais diárias da alimentação humana e como as tecnologias de processamento e preservação afetam a composição nutricional dos alimentos. É conhecido que os vegetais têm um importante papel na dieta humana e na longevidade. Os efeitos benéficos, dos frutos e outros vegetais, à saúde do homem são atribuídos geralmente à presença de substâncias naturais tais como antioxidantes, fibras e outros componentes bioativos. Contudo, estudos recentes demonstraram que o consumo isolado destas substâncias como complementos alimentares não tem o mesmo efeito que a ingestão de frutas, legumes e verduras. Isto sugere que a base dos mecanismos das propriedades protetoras das frutas e legumes é mais complexa que o esperado; é possível que outros componentes naturais estejam envolvidos na interação destas propriedades, os quais influenciam na atividade biológica (LERICI *et al.*, 2000). Desta forma, abre-se uma nova perspectiva para o estudo de preservação dessas propriedades em frutas e outros vegetais durante o processamento.

A vitamina C, genericamente denominada de ácido ascórbico, é considerada como um dos antioxidantes mais importantes por causa da sua atividade contra os radicais livres, e pelo importante papel que joga contra agentes cancerígenos e doenças cardiovasculares, bem como sua ação estimulante no sistema imunológico. O conteúdo de vitamina C pode diferir grandemente entre as numerosas espécies e variedades de frutas e legumes e pode ser afetada pelo tamanho, fase de maturação, prática de cultivo, condições de armazenamento e técnicas de embalagem (GALGANO *et al.*, 2002). Por outro lado, a vitamina C é muito sensível à destruição sendo facilmente oxidada, especialmente em soluções aquosas e alcalinas (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001). Além das vitaminas, os carotenóides também são um atributo de qualidade muito importante para a indústria de alimentos, não só por causa da cor que conferem aos produtos, mas

também pelos reconhecidos benefícios à saúde. A ingestão de carotenóides reduz o risco de certos tipos de câncer, arteriosclerose e a formação de cataratas, entre outros. Assim, a importância dos carotenóides na saúde humana contra a prevenção de doenças é bastante conhecida (ARIAS *et al.*, 2000). Porém, a vitamina C e os carotenóides são sensíveis à degradação quando o alimento é submetido a condições adversas de manipulação e/ou armazenamento prolongado, altas temperaturas, baixa umidade relativa, dano físico, e danos por resfriamento (LEE & KADER, 2000; UDDIN *et al.*, 2002; PÉREZ-GÁLVEZ *et al.*, 2004). Geralmente se observa que, se o ácido ascórbico é bem retido, os outros nutrientes também são bem preservados. Conseqüentemente, o ácido ascórbico é usualmente considerado como um índice de qualidade durante o processamento e armazenamento de alimentos (FENNEMA, 1977; GALGANO *et al.*, 2002; UDDIN *et al.*, 2002).

A goiaba, uma fruta nativa das regiões tropicais e subtropicais de América é uma importante fonte de vitamina C e carotenóides, em especial, o licopeno. Apresenta teores de vitamina C variando de 88 a 300 mg/100 g, três a seis vezes mais do conteúdo vitamínico na laranja (YAMASHITA *et al.*, 2000, UDDIN *et al.*, 2002). O conteúdo de licopeno nas goiabas é entre 44,8 e 61,0 µg/g (WILBERG & RODRIGUEZ-AMAYA, 1995), próximo ao conteúdo no tomate, que varia entre 41,6 e 75,5 µg/g (THOMPSON *et al.*, 2000; SHI *et al.*, 1999; SHI & LE MAGUER, 2000) dependendo do cultivar.

Alguns estudos com goiabas foram realizados para avaliar a degradação do ácido ascórbico durante o estágio de maturação e em processos de conservação como tratamento térmico, secagem, processamento mínimo, resfriamento e armazenamento (UDDIN, *et al.*, 2002; PADULA & RODRIGUES-AMAYA, 1987).

A secagem de goiabas por ar quente em temperaturas elevadas e na presença de oxigênio favorece a degradação de ácido ascórbico resultando em mudanças de aparência e cor indesejáveis (UDDIN, *et al.*, 2002). Estudos sobre a cinética de degradação da vitamina C em função das condições de processamento permitem escolher processos alternativos ou operações mais

---

eficientes para minimizar perdas de qualidade (FRANZEN *et al.*, 1990). Vários trabalhos de simulação para prever a degradação da vitamina C durante a secagem foram desenvolvidos, MISHKIN *et al.* (1984) utilizaram um modelo cinético para representar a perda de ácido ascórbico durante a secagem de batata em função da temperatura e do conteúdo de umidade. FRIAS & OLIVEIRA (2001), determinaram a cinética de degradação de vitamina C em um alimento-modelo a base de maltodextrina submetido à secagem convectiva nas temperaturas entre 100 e 160° C até 200 min. Os autores analisaram a influência da temperatura e o conteúdo de umidade nos parâmetros dos modelos polinomial e de Gordon-Taylor, obtendo bons ajustes para ambos.

UDDIN *et al.* (2002) observaram a cinética de degradação da vitamina C durante o armazenamento de goiabas desidratadas, analisando a influência da temperatura de armazenamento e a atividade de água, foram constatados que a degradação da vitamina C teve um comportamento cinético de reação de 1ª ordem, em que a constante de velocidade de reação aumentou com o aumento da atividade de água e a temperatura. GABAS *et al.* (2003) num trabalho com ameixas liofilizadas e submetidas a diferentes condições de temperatura e umidade relativa utilizaram a equação de Bigelow (freqüentemente empregada para avaliar a intensidade de esterilização) para avaliar e prever a cinética de degradação do ácido ascórbico obtendo bons resultados.

O dano oxidativo que propicia a degradação pode ser minimizado pela otimização das condições de processamento. ERLE & SCHUBERT (2001) propuseram os processos combinados de desidratação osmótica e secagem por microondas e desidratação osmótica e secagem a vácuo para possibilitar a obtenção de maçãs e morangos com alta qualidade em termos de cor, conteúdo de vitamina C, estrutura e volume. SHARMA *et al.* (1998), obtiveram melhor retenção de ácido ascórbico em maçãs desidratadas osmoticamente com posterior secagem a vácuo, que em maçãs desidratadas sem prévio tratamento osmótico.

Segundo SHI & LE MAGUER (2000), a impregnação do soluto desidratante na camada superficial da fruta, durante o tratamento osmótico, impede o contato

do oxigênio e minimiza a oxidação dos carotenóides. O pré-tratamento osmótico como etapa anterior à secagem mostrou-se vantajoso na preservação da qualidade do produto. No tratamento osmótico de frutas associadas à secagem e ao congelamento, TORREGGIANI & BERTOLO (2001) indicam que a entrada de açúcares na fruta, durante o processo, combinado com os efeitos da desidratação, pode modificar a composição da fruta favorecendo a retenção de pigmentos, vitaminas e substâncias responsáveis pelo aroma.

PÉREZ-GÁLVEZ *et al.* (2004) e MÍNGUEZ-MOSQUERA *et al.* (2000) observaram que o efeito da secagem, sobre o conteúdo remanescente de carotenóides em pimentas, depende da variedade utilizada. Eles demonstraram a complexidade metabólica da síntese de carotenóides nos frutos de pimenta. Segundo os pesquisadores, a biossíntese dos carotenóides apresenta duas vias e, dependendo do grau de maturação, uma ou outra via será dominante. Em alguns casos, durante o início da secagem em frutas com grau incompleto de maturação, há um aumento da concentração de certos pigmentos, provavelmente causados por uma biossíntese contínua de carotenóides nas frutas entrando no secador, devido ao seu incompleto amadurecimento, de forma que as vias metabólicas de formação de pigmentos continuam a existir por um tempo. Em frutos completamente maduros, o conteúdo total de carotenóides diminui com a secagem. Assim, são necessários estudos que avaliem os efeitos das condições de processamento nas mudanças qualitativas e quantitativas de alguns nutrientes dos alimentos submetidos à secagem e procurar determinar as condições que minimizem a degradação dos nutrientes durante o processamento de frutas.

Diante do exposto, o objetivo deste capítulo foi avaliar o conteúdo de carotenóides totais e de ácido ascórbico em goiabas osmoticamente tratadas com secagem subsequente, até a obtenção de um produto de umidade intermediária com atividade de água entre 0,6 e 0,8.

## 6.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 6.2.1. Material

Goiabas (*Psidium guajava* L.) vermelhas maduras de cultivar *Paluma* foram obtidas no Centro de Abastecimento de Campinas/SP. Frutas com o mesmo tamanho e grau de amadurecimento foram selecionadas, de forma a ter amostras homogêneas. As frutas foram lavadas e tratadas conforme descrito no capítulo III. As goiabas foram imersas em uma solução de sacarose (60°Brix) a 40°C por duas horas em equipamento semicontínuo com recirculação da solução. A relação fruta:solução foi de 1:5. A solução osmótica foi reusada por 20 vezes, sendo a concentração da solução osmótica monitorada e sempre que necessário ajustada ao valor da concentração inicial. Após o processo osmótico, as amostras foram lavadas em água clorada antes de serem colocadas sobre um papel absorvente para remover a umidade da superfície. As goiabas processadas nos ciclos 1, 5, 10, 15 e 20, foram submetidas à secagem com fluxo de ar quente.

### 6.2.2. Secagem

As metades das goiabas pré-tratadas osmoticamente foram cortadas como descritos no capítulo V, obtendo-se palitos de 5 a 8 mm de espessura. As goiabas em palitos foram então dispostas lado a lado em bandejas de alumínio perfuradas que permitiam a passagem de ar quente a 60°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ). A secagem foi realizada em um secador de bandejas com velocidade de ar de 1,0 m/s. As amostras foram pesadas periodicamente de forma a controlar o processo de secagem. O tempo total de secagem foi de 4 horas, monitorando-se durante todo o processo (tempos de amostragem: 0, 60, 120, 180, 240 e 360 min).

### 6.2.3. Características físicas e químicas das goiabas frescas, osmodesidratadas e osmodesidratadas e secas

Os teores de umidade, acidez titulável e açúcares totais foram determinados de acordo com os métodos 22.013, 22.008 e 31.036,

respectivamente da AOAC (1996), Os sólidos solúveis (°Brix) foram medidos com um refratômetro Zeiss West (Zeiss West, Alemanha) à 25°C. A atividade de água foi determinada por leitura direta em higrômetro Decagon CX-2T (Aqualab – Decagon Devices Inc., USA) previamente calibrado (como descrito no capítulo V) e o pH em potenciômetro digital, marca Mettler Toledo, modelo 320 (Brasil).

Três alíquotas de seis amostras de goiaba, retiradas de cada ciclo de reutilização da solução de sacarose, foram submetidas à análise.

#### **6.2.4. Determinação do conteúdo total de carotenóides**

O conteúdo de carotenóides totais foi determinado em goiabas frescas, osmodesidratadas e osmodesidratadas e secas. As análises foram realizadas no laboratório de Bioaromas do Departamento de Ciência dos Alimentos DCA/FEA/UNICAMP. Todas as operações, começando com a extração, foram realizadas com as luzes apagadas, tomando-se o cuidado de proteger os pigmentos da incidência de luz difusa forrando o funil de separação com papel de alumínio. O método de extração de carotenóides foi baseado no procedimento descrito por SÁ (2001) com algumas modificações, de acordo com a natureza das amostras.

Dez gramas de cada amostra foram previamente trituradas e transferidas para um almofariz onde foi adicionada uma quantidade de celite para facilitar o rompimento do tecido celular através do esmagamento da amostra e favorecer a retirada dos carotenóides. Pequenas quantidades de acetona P.A. foram adicionadas à mistura fruta/celite, para extrair os carotenóides, e a mistura foi lavada com acetona até o embranquecimento da celite. A solução obtida, acetona/carotenóides, foi filtrada a vácuo. O filtrado obtido foi transferido para um funil de separação contendo aproximadamente 150 mL de éter de petróleo (P.A.) Os carotenóides contidos na acetona foram difundidos para o éter de petróleo e a acetona foi retirada da solução, por arraste, com água destilada. O éter contendo os carotenóides foi transferido para um erlenmeyer. Posteriormente, uma pequena quantidade de sulfato de sódio anidro foi adicionada para absorver a umidade

ainda presente na solução de éter/carotenóides e deixada a 10°C por aproximadamente 15 minutos. Transcorrido o tempo, transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 200 mL completando o volume com éter de petróleo.

Após a extração, foi determinado o conteúdo de carotenóides totais do extrato em éter de petróleo, utilizando-se um espectrofotômetro marca Beckman – DU-7- modelo B340 (USA) com comprimentos de onda máximos de absorção na faixa de 467 a 469 nm. Os carotenóides totais foram calculados pela equação 6.1. O conteúdo de carotenóides totais na goiaba fresca foi considerado o padrão.

$$C (\mu\text{g/g}) = \frac{\lambda_{\text{max}} \times \text{diluição} \times 10^4}{\text{Lic} \times m} \quad (6.1)$$

Onde:  $\lambda_{\text{max}}$  é a absorbância máxima, **d** a diluição da amostra, **Lic** o licopeno contido em éter de petróleo e **m** a massa da amostra (g).

Para as amostras desidratadas, estas foram umedecidas com água, até que a capacidade de absorção do tecido vegetal fosse aparentemente esgotada. Após isso, a amostra foi deixada em acetona, por 30 minutos, a fim de aumentar a penetração do solvente, sendo posteriormente triturada em almofariz seguindo o procedimento indicado anteriormente.

Todas as análises foram feitas em quadruplicata. Os valores mostrados na discussão são as médias, com seus desvios padrão.

### **6.2.5. Determinação do ácido ascórbico**

A determinação da vitamina C nas goiabas frescas e desidratadas osmoticamente foi realizada por método titulométrico como descrito por BENASSI (1990). Amostras de 25 g foram transferidas para um béquer de 250 mL e 50 g de solução de ácido oxálico (2%) foram adicionados. A mistura foi homogeneizada com o auxílio de um mixer (marca Walita). 20 g desse extrato foram transferidos para um balão de 50 mL completando o volume com solução de ácido oxálico a 2%. O conteúdo do balão foi filtrado. Alíquotas de 10 mL do filtrado foram transferidas para erlenmeyers e tituladas com solução de 2,6-diclorofenoindofenol

(DCFI) previamente padronizada até o aparecimento de uma coloração rosa persistente por 15 segundos.

Para a padronização da solução titulante DCFI, foram colocados 1 mL de solução padrão de ácido ascórbico em um balão de 25 mL e completado o volume com ácido oxálico (2%). Dessa mistura foi extraída uma alíquota de 10 mL e em seguida titulada com solução de DCFI, fornecendo o valor do título da solução.

A quantificação da vitamina C nas goiabas pré-tratadas osmoticamente e secas diferiu do anterior em relação à quantidade de amostra e do extrato utilizado na determinação da vitamina. Assim, foram pesadas 10 g da fruta desidratada, transferidas para um béquer de 250 mL e adicionados 50 g de solução de ácido oxálico (2%). A mistura foi homogeneizada com o auxílio de um mixer. 40 g desse extrato foram transferidos para um balão de 100 mL completando o volume com solução de ácido oxálico a 2%. O procedimento subsequente segue a metodologia citada para a goiaba fresca e osmodesidratada.

Para o cálculo do conteúdo de vitamina C da goiaba ao longo da secagem, levou-se em consideração a perda de umidade da amostra durante este processo, sendo calculados pela equação 6.2 (GABAS, 2002)

$$\frac{mgVit.C}{100g_{goiaba(sól.seco)}} = \frac{DCFI_{amostra}}{DCFI_{padrão}} \times \frac{100g}{M_{sól.seco}} \times \frac{M_{solvente} + M_{sól.seco}}{m_{amostra}} \times \frac{V}{V_{amostra}} \quad (6.2)$$

Onde **DCFI** é o volume gasto na titulação da amostra e do padrão respectivamente (mL), **M<sub>sól.seco</sub>**, é a quantidade em massa de sólido seco contido na amostra (g); **M<sub>solvente</sub>**, a quantidade de solvente adicionado para a trituração da amostra (g); **m<sub>amostra</sub>** a quantidade de alíquota da amostra (g); V o volume do solvente e **V<sub>amostra</sub>**, (mL) é o volume da alíquota da amostra retirada para a titulação (mL).

### 6.2.6. Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada com o auxílio do software Statistica V.5.0. Os resultados foram considerados significativos com nível de

significância de  $p < 0,05$  para as análises de variância (ANOVA) do teste de Tukey. Foram considerados os valores médios de cada repetição e seu respectivo desvio padrão.

### 6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 6.3.1. Efeito do reuso da solução de desidratação sobre o produto obtido depois da secagem

A Tabela 6.1 mostra os dados obtidos para a atividade de água, o teor de umidade, açúcares totais e acidez titulável em amostras secas com e sem pré-tratamento osmótico. Embora o conteúdo inicial de umidade tenha sido menor nas goiabas pré-tratadas osmoticamente, não houve diferença significativa no período de secagem para obter um produto com umidade intermediária (0,65 a 0,75 de  $a_w$ ). Como discutido no capítulo V, a desidratação osmótica não provocou redução no tempo de secagem nas condições estudadas para goiabas cortadas em palitos, atribuindo-se como fator determinante da velocidade do processo de secagem à área de contato da amostra.

**TABELA 6.1.** - VALORES DAS MÉDIAS DE UMIDADE, ATIVIDADE DE ÁGUA ( $A_w$ ), AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS (ART) E ACIDEZ TITULÁVEL (AT) DE FATIAS DE GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SECAS (GPOS) POR QUATRO HORAS E DE GOIABAS SECAS SEM PRÉ-TRATAMENTO.

Amostra	umidade (%)	$A_w$	ART (%)	AT (%)
Goiaba seca	13,84 ± 2	0,743 ± 0,02	16,09 ± 1,3	5,7 ± 0,2
GPOS 1º reciclada	11,16 ± 2,9	0,672 ± 0,02	34,77 ± 1,7	3,12 ± 1,9
GPOS 5º reciclada	10,93 ± 1,2	0,658 ± 0,04	40,91 ± 0,7	3,61 ± 0,8
GPOS 10º reciclada	11,18 ± 1,5	0,659 ± 0,006	39,68 ± 0,9	3,34 ± 1,1
GPOS 15º reciclada	11,84 ± 2,68	0,679 ± 0,007	36,95 ± 1,9	3,22 ± 0,7
GPOS 20º reciclada	11,09 ± 2,13	0,666 ± 0,002	39,07 ± 1,78	3,24 ± 0,5
Desvio padrão <sup>1</sup>	0,53	0,04	2,43	0.19

GPOS: Goiabas pré-tratadas osmoticamente em solução de sacarose reusada e secas.

1: Desvio padrão entre os cinco valores de reciclado de goiabas osmodesidratadas e secas

### 6.3.2. Efeito do tempo de secagem sobre o conteúdo de ácido ascórbico em goiabas pré-tratadas osmoticamente e secas

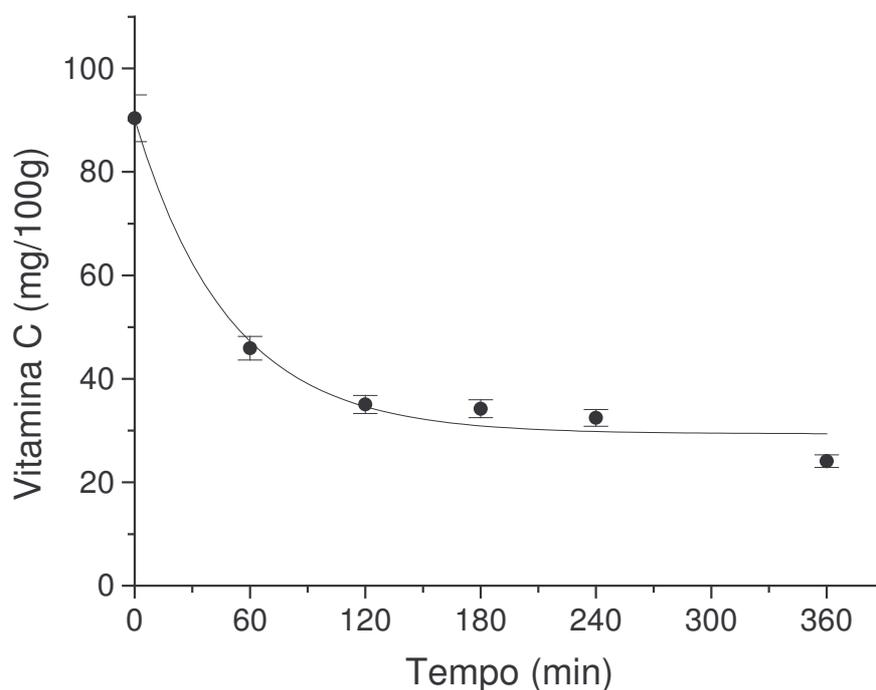
O conteúdo de vitamina C quantificada pelo ácido ascórbico em goiabas osmoticamente desidratadas não foi significativamente diferente entre os ciclos de reuso da solução osmótica, apresentando uma retenção da quantidade inicial de 83,27 ( $\pm 8,8$ ) %. A perda de vitamina C durante a desidratação osmótica, segundo HENG *et al.* (1990) é atribuída à difusão na fase aquosa e à degradação química.

A evolução do conteúdo residual de ácido ascórbico durante a secagem (30 a 360 min de processo) de goiabas pré-tratadas osmoticamente em solução de sacarose por 2 horas é mostrada na Figura 6.1.

Em goiabas secas sem prévio tratamento osmótico houve completa degradação da vitamina C. Nas amostras desidratadas em combinação do tratamento osmótico e secagem, o conteúdo de vitamina C diminuiu com o aumento do tempo de secagem a 60°C (Figura 6.1). Os dados experimentais apresentados mostram que após 120 minutos de secagem, a retenção de ácido ascórbico foi ao redor de 30-35%. A degradação do ácido foi analisada através do ajuste de uma equação cinética de primeira ordem (Equação 6.1) que proporcionou melhor ajuste para descrever a perda da vitamina C em função do tempo de secagem, o que é consistente com resultados da literatura (UDDIN *et al.*, 2002, DEWANTO *et al.*, 2002; ASSIRY *et al.*, 2003). Os parâmetros de ajuste do modelo são apresentados na tabela 6.2.

$$C_{At} = C_{Ao} + a.e^{-(t-t_o)/b} \quad (6.1)$$

Onde  $C_{Ao}$  e  $C_{At}$  são o conteúdo de vitamina C inicial e a um tempo  $t$ ;  $t_o$  e  $t$  são o tempo inicial e um tempo  $t$  qualquer de processo, respectivamente e  $a$  e  $b$  são parâmetros de ajuste.



**Figura 6.1.** - Evolução do conteúdo de ácido ascórbico em função do tempo de secagem a 60°C em palitos de goiaba osmoticamente pré-desidratados e secos (●). Ajuste da cinética de 1° ordem (Linha contínua).

**TABELA 6.2.** - PARÂMETROS DE AJUSTE DO MODELO CINÉTICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA O CONTEÚDO RESIDUAL DE ÁCIDO ASCÓRBICO DURANTE A SECAGEM A 60°C DE GOIABAS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE EM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 60°BRIX

Amostra	a	b	R <sup>2</sup>
GPOS	60,78 ± 4,63	49,02 ± 10,25	0,983

GPOS: Goiabas pré-tratadas osmoticamente em solução de sacarose reusada e secas.

A perda da vitamina C ocorre principalmente pela degradação química através da oxidação do ácido ascórbico para ácido dehidroascórbico e outros bioprodutos nutricionalmente inativos. O ácido ascórbico é facilmente oxidado especialmente em soluções aquosas e muito favorecido pela presença do oxigênio e de altas temperaturas (LEE & KADER, 2000; GIOVANELLI, *et al.* 2002; ASSIRY *et al.*, 2003).

Uma perda considerável de ácido ascórbico foi observada após a secagem com ar quente em fatias de tomate e polpa de tomate por ZANONI *et al.*, (1999). DEWANTO *et al.* (2002), mostraram que o conteúdo de vitamina C em tomates diminuiu com o aumento do tempo de aquecimento a 88°C. Depois de 2, 15 e 30 minutos de aquecimento a 88°C, o conteúdo de vitamina C diminuiu em 10,53, 15,79 e 28,95%, respectivamente. Porém, observaram que apesar da perda significativa de ácido ascórbico, o processamento térmico aumentou o valor nutricional pelo aumento do conteúdo de flavonóides disponíveis, os quais têm uma considerável atividade antioxidante. Tal efeito pode também ocorrer com goiabas.

Segundo SOUZA FILHO *et al.* (1999), as perdas de ácido ascórbico durante o processamento osmótico e térmico estão associadas a uma combinação de perdas por difusão durante a osmose e à degradação química e térmica, pelo efeito do calor. Nas goiabas sem prévio tratamento houve completa degradação da vitamina C. No entanto, a degradação da vitamina C nas goiabas submetidas ao processo osmótico seguido de secagem teve um comportamento cinético de primeira ordem. Este comportamento pode ser atribuído à impregnação de solução de sacarose nas amostras diminuindo a degradação da vitamina C.

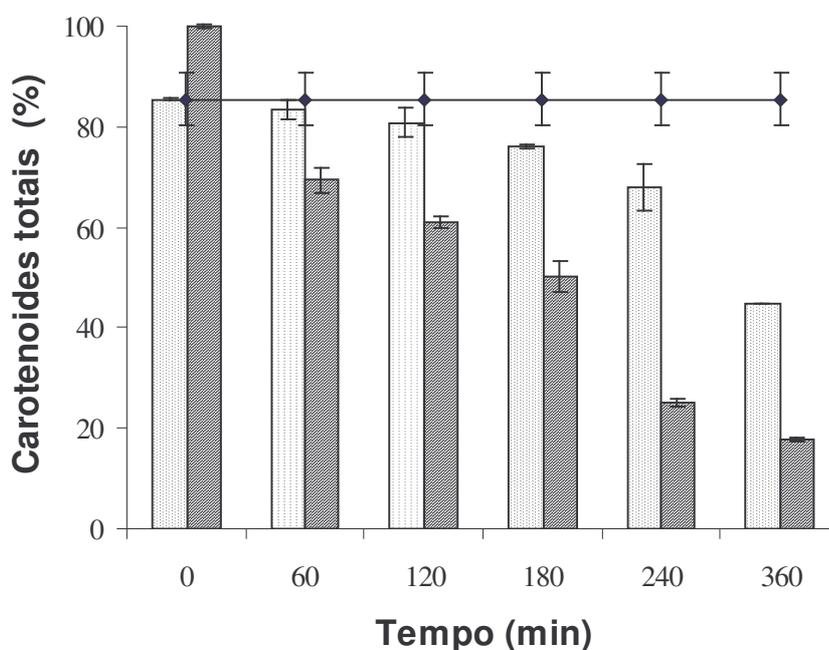
#### **6.3.4. Efeito do tempo de secagem sobre a retenção dos carotenóides totais em goiabas pré-tratadas osmoticamente e secas**

A Figura 6.2 apresenta a retenção total do conteúdo de carotenóides em goiabas osmoticamente secas, com e sem tratamento osmótico.

Durante a desidratação osmótica, o conteúdo de carotenóides totais diminuiu de 6,01 para 5,34 mg/100g de fruta em base seca. A perda do conteúdo de carotenóides nesta etapa pode ser associada, em parte, à difusão dos pigmentos da fruta para a solução (HENG *et al.*, 1990; VALDEZ-FRAGOSO *et al.*, 1999), que com os sucessivos ciclos de reutilização, a solução torna-se mais turva

e com coloração ligeiramente aumentada, sendo atribuída principalmente, aos pigmentos solúveis da fruta como relatados no capítulo IV.

As goiabas osmoticamente tratadas e secas apresentaram maior retenção de carotenóides totais (68% para 4 h de secagem) do que amostras sem tratamento osmótico (25% para 4 h de secagem). SHI *et al.* (1999) relataram um comportamento similar para tomates. A provável explicação é que a solução de sacarose, usada na desidratação osmótica, evita o contato entre a fruta e o oxigênio, reduzindo a oxidação dos carotenóides no tecido da fruta, quando se trabalha a baixas temperaturas.



**Figura 6.2.** - Comportamento da retenção total do conteúdo de carotenóides totais em função do tempo de secagem em palitos de goiaba desidratados a 60°C com pré-tratamento osmótico (□) e sem prévio tratamento (■). A linha corresponde ao conteúdo de carotenóides totais em goiaba osmoticamente pré-tratada sem secagem.

As amostras de goiaba seca sem tratamento osmótico apresentaram maior degradação de carotenóides, provavelmente devido à desintegração do tecido

celular e à maior exposição ao oxigênio, o que resultou na destruição dos pigmentos (SHI, *et al.*, 1999; SHI & LE MAGUER, 2000; NGUYEN *et al.*, 2001).

Para tomates, DEWANTO *et al.* (2002) observaram que o processamento térmico aumentou o valor nutricional devido ao aumento do conteúdo de licopeno biodisponível e conseqüentemente ao aumento da atividade antioxidante total. Assim, é possível que o mesmo aconteça com as goiabas, pois o licopeno é o carotenóide mais abundante e representa cerca de 80% dos carotenóides totais (PADULA & RODRIGUES-AMAYA, 1987).

Por outro lado, a quantidade de ácido ascórbico presente nas goiabas pré-tratadas osmoticamente e secas, pode ter influenciado na estabilidade dos carotenóides. Conforme relatado por CHOI *et al.* (2002), o ácido ascórbico parece ter efeito estabilizante sobre os carotenóides. Esses pesquisadores estudaram a interação do ácido ascórbico com pigmentos sobre a qualidade do suco de laranja e relataram que a interação do ácido ascórbico com as antocianinas resultou na degradação de ambos e na diminuição da cor e qualidade nutricional do suco de laranja. No entanto, a perda de carotenóides foi limitada comparada com a perda de antocianinas, sob as mesmas condições de armazenamento, provavelmente devido ao efeito estabilizante do ácido ascórbico sobre os carotenóides.

Assim, produtos desidratados de melhor qualidade em termos de conteúdo de vitamina C e retenção de carotenóides totais podem ser obtidos pela impregnação de açúcares durante o pré-tratamento osmótico servindo de barreira ao oxigênio e conseqüentemente ao dano oxidativo e degradação de nutrientes.

## 6.4. CONCLUSÕES

Goiabas osmodesidratadas obtidas em tratamento com solução de sacarose reusada em 20 sucessivos ciclos de reaproveitamento e secas com fluxo de ar quente, apresentaram retenção de 83,27% de vitamina C e de 88,85% de carotenóides totais, não sendo observada diferença significativa entre os ciclos de reuso da solução.

Os processos combinados de desidratação osmótica e secagem possibilitaram a obtenção de produtos com melhor qualidade em termos de retenção de vitamina C e carotenóides totais. O efeito benéfico e protetor da impregnação do açúcar nas goiabas osmodesidratadas e secas influenciaram na retenção de 20 a 35% de vitamina C e de 66 a 70% de carotenóides totais. Goiabas secas sob as mesmas condições, sem pré-tratamento osmótico, apresentaram degradação total da vitamina C e retenção de 25% de carotenóides totais.

## 6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, R.; LEE, T.C.; LOGENDRA, L. e JANES, H. Correlation of Lycopene Measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.1697-1702, 2000.

ASSIRY, A.; SASTRY, S.K. e SAMARANAYAKE, C. Degradation kinetics of ascorbic acid during ohmic heating with stainless steel electrodes. **Journal of Applied Electrochemistry**, v.33, pp.187-196, 2003.

ASSOCIATION OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS (AOAC), 1996. Cap. 37 – Fruits and Fruit products- **Association of Official Analytical Chemists**, 17 th ed., Arlington, Virginia, U.S.A. 1298 p.

BENASSI, M.T.; ANTUNES, A.J. A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, p.507-513, 1988.

BENASSI M.T. **Análise dos efeitos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. Campinas, 1990. 159p. Dissertação (Mestrado em de Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

CHOI, M.H.; KIM, G.H. e LEE, H.S. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research International**. v.35, p.753-759, 2002.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, F.F. e LIU, R.H. Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.50, p.3010-3014, 2002.

ERLE, U. e SCHUBERT, H. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.193-199, 2001.

FENNEMA O.R. **Food Technology**, v.31, cap12, p.32. 1977.

FERREIRA, V.L.P. **Colorimetria em Alimentos**. Campinas: Ed. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1991, 43p.

FRANZEN, K.; SING, R.K. e OKOS, M.R. Kinetics of nonenzymatic browning in dried skim milk. **Journal of Food Engineering**, v.11, p.445-465, 1990.

FRÍAS, J.M. e OLIVEIRA, J.C. Kinetic models of ascorbic acid thermal degradation during hot air drying of maltodextrin solutions. **Journal of Food Engineering**, v.47, p.255-262, 2001.

GABAS, A.L. **Influência das condições de secagem de ameixa (Prunus domestica) na qualidade do produto final**. 2002. Campinas. 155f. Tese (Doutorado em de Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

GABAS, A.L.; TELIS-ROMERO, J. e MENEGALLI, F.C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p.66-70, 2003.

GALGANO, F.; FAVATI, F.L.; LAPELOSA, L., ALBANESE, D. e MONTANARI, L. Effect of Chilling on the Vitamin C Content of Fennel during Storage. **Italian Journal of Food Science**, v.2, n.14, p.167-173, 2002.

GIOVANELLI, G.; ZANONI, B.; LAVELLI, V. e NANI, R. Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.135-141, 2002.

HENG, K; GUILBERT, S. e CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: Influence of process variables on the product quality. **Sciences des Aliments**, v.10, p.831-848, 1990.

LEE S.K. e KADER, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v.20, p.207-220, 2000.

LERICI, C.R.; NICOLI, M.C. e ANESE, M. The “weight” given to food processing at the “food and cancer prevention III” symposium. **Italian Journal of Food Science**, v.12, n.1, p.3-7, 2000.

MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I.; PÉREZ-GÁLVEZ, A. e GARRIDO-FERNÁNDEZ, J. Carotenoid Content of the varieties Jaranda and Jariza (*Capsicum annuum* L.) and response during the industrial slow drying and grinding steps in Paprika processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.2972-2976, 2000.

MISHKIN, M.; SAGUY, I.; KAREL, M. A dynamic test for kinetic models of chemical changes during processing: ascorbic acid degradation in dehydration of potatoes. **Journal of Food Science**, v.49, p.1267-1274, 1984.

NGUYEN, M.; FRANCIS, D. e SCHWARTZ, S. Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids in different tomato varieties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.81, p.910-917, 2001.

PADULA, M. e RODRIGUES-AMAYA, D.B. Changes in individual carotenoids and vitamin C on processing and storage of guava juice. **Acta Alimentaria**, v.16, n.3, p.209-216, 1987.

PEREIRA, F. M. e MIGUEL JR., M. **Goiabas para industrialização**. Ed. UNESP. Jaboticabal, 1986.

PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ D. e MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. Changes in the carotenoid metabolism of capsicum fruits during application of modeled slow drying process for paprika production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.518-522, 2004.

SÁ, M.C. **Carotenóides em alimentos preparados para o consumo: Comparação de análise direta e cálculo pelos dados de retenção**. Campinas, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

SHARMA, K.D.; SETHI, V. e MAINI, S.B. Osmotic dehydration in apple: Influence of variety location and treatment on mass transfer and quality of dried rings. **Acta Alimentaria**, v.27, p.245-256, 1998.

SHI J.; LE MAGUER, M.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A. e NIEKAMP, F. Lycopene Degradation and Isomerization in Tomato Dehydration. **Food Research International**, v. 32, p.15–21, 1999

SOUZA FILHO, M.M; LIMA, J.R.; SOUZA, A.C.R.; SOUZA NETO, M.A. e COSTA, M.C. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.2, p.211-213, 1999.

TORREGGIANI, D. e BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structure effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001.

THOMPSON, K.A.; MARSHALL, M.R.; SIMS, C.A.; WEI, C.I., SARGENT S.A.; SCOTT, J.W. Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. **Journal of Food Science**, v.65, n.5, p.791-795, 2000.

UDDIN, M.S.; HAWLADER, M.N.A.; DING L. e MUJUMDAR, A.S. Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. **Journal of Food Engineering**, v.51, p.21-26, 2002.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Note. Physico-chemical characteristics of sucrose syrup used for the osmotic dehydration of apples (Golden delicious). **Food Science and Technology International**, v.5, n.3, p.255-261, 1999.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI, J.C. e GIROUX, F. Pilot plant for osmotic dehydration of fruits: Design and evaluation. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.189-199, 2002.

WILBERG, V.C. e RODRIGUEZ-AMAYA, D. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. **Food Science and Technology-lebensmittel-wissenschaft & Technologie**, v.28, n.5, p.474-480, 1995.

YAMASHITA, F.; TONZAR, A.C.; FERNANDES, J.G.; MORYA, S.; BENASSI, M.T. Influência da embalagem de atmosfera modificada e do tratamento com cálcio na cinética de degradação de ácido ascórbico e perda de massa em goiabas (*Psidium guajava* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.110-114, 2000.

ZANONI, B.; PERI, C.; NANI, R. e LAVELLI, V. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. **Food Research International**, v.31, n.5, p.395-401, 1999.

## CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os objetivos principais da tese puderam-se elaborar as seguintes conclusões:

A construção do sistema semicontínuo possibilitou a desidratação osmótica de uma maior quantidade de goiabas em um mesmo sistema de processamento, além de permitir a reutilização da solução desidratante, pois as propriedades da fruta não se alteraram ao final do processo. Esta possibilidade de reutilização permitiu que o processo fosse mais viável economicamente, além de possibilitar um menor descarte de resíduos, o que levaria a um menor impacto ambiental.

O aumento da vazão mássica da solução desidratante no sistema semicontínuo, não resultou ser a variável mais importante para obter resultados de perda de água, peso e ganho de solutos similares aos obtidos utilizando sistema batelada com fluxo de solução radial. Observou-se que a disposição do material e o efeito da fluidodinâmica do sistema semicontínuo com vazão de 540 kg/h reproduziram satisfatoriamente a remoção de água com uma pequena impregnação de solutos.

A reutilização da solução de sacarose diminuiu o pH e aumentou a acidez do meio, contribuindo para manter a carga microbiana abaixo dos valores estabelecidos pela legislação, e não influenciou nos parâmetros de desidratação, permitindo a sua reutilização por até 20 vezes sem comprometimento da qualidade sensorial. A proporção de uma parte de fruta por cinco partes de solução (1:5) apresentou-se mais vantajosa que relações 1:10 e 1:3.

A desidratação osmótica e a área de contato influenciaram no tempo de secagem de goiabas processadas a 60°C. A modelagem matemática a partir da Lei de Fick permitiu o cálculo dos coeficientes de difusão das amostras na secagem. Os valores encontrados não foram diferentes significativamente entre as amostras com e sem tratamento osmótico. Os modelos de Page e difusional proporcionaram um bom ajuste, independente da condição do pré-tratamento. Obteve-se produtos osmodesidratados e secos a umidade intermediária com atividade de água de aproximadamente 0,75 após 3 horas de secagem e de 0,65 após 4 horas.

A desidratação osmótica afetou significativamente a cor das goiabas favorecendo a intensidade da cor vermelha, como conseqüência da concentração dos pigmentos, e ao possível efeito protetor do açúcar impregnado durante o processo osmótico. A textura do produto também foi influenciada pela impregnação dos solutos, permitindo obter produtos menos rígidos. As goiabas osmodesidratadas e secas foram consideradas sensorialmente com melhor cor e aroma, mais doces e mais macias do que a goiaba seca sem pré-tratamento.

Os processos combinados de desidratação osmótica e secagem possibilitaram a obtenção de produtos com melhor qualidade, em termos de retenção de vitamina C e carotenóides totais. O efeito benéfico e protetor da impregnação do açúcar nas goiabas osmodesidratadas e secas influenciou na retenção de 20 a 35% de vitamina C e de 66 a 70% de carotenóides totais. Goiabas secas sob as mesmas condições, sem pré-tratamento osmótico, apresentaram degradação total da vitamina C e retenção de 25% de carotenóides totais.

Finalmente conclui-se que o sistema semicontínuo de desidratação osmótica com reaproveitamento da solução foi eficiente, e em combinação à secagem com ar quente forneceram produtos a umidade intermediária com qualidade sensorial e nutricional satisfatória, o que possibilitará sua utilização em escalas maiores.

## **SUGESTÕES**

Visando a complementação do estudo realizado, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliação microscópica da estrutura celular da fruta após tratamento osmótico e secagem, para validar a hipótese de que a barreira protetora de solutos é formada na parede celular.
- Estudo da vida de prateleira do produto osmodesidratado e seco com avaliação da degradação dos constituintes nutricionais, visando provável comercialização futura.
- Modelagem matemática da degradação de ácido ascórbico para predição da perda da vitamina C com o tempo e temperatura de armazenamento em goiabas osmodesidratadas e secas.
- Reidratação do produto osmodesidratado e seco e análises dos constituintes nutricionais e sensoriais comparando-os com os diferentes modos de controle (fruta fresca, fruta seca sem tratamento osmótico, fruta

osmodesidratada).

- Uso do xarope residual na elaboração de produtos como frutas em calda, geléias e doces.
- Avaliação econômica do processo visando sua aplicação industrial.
- Maiores estudos na avaliação do sistema semicontínuo para a desidratação osmótica.

## ANEXOS

### ANEXO I

#### Ficha de análise sensorial: TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra padrão (P) e quatro amostras codificadas. O objetivo desta análise é medir o grau de diferença entre as amostras codificadas e a amostra padrão. Para tanto, Compare cada amostra com o padrão e identifique se há diferença ou não em relação aos atributos cor, textura, aroma e sabor.

Em seguida, assinale o grau de diferença de acordo com a escala:

- 1 → Nenhuma diferença
- 2
- 3
- 4
- 5 → Regularmente diferente que o padrão
- 6
- 7
- 8
- 9 → Extremamente diferente

COR	
Nº da amostra	Valor

TEXTURA	
Nº da amostra	Valor

AROMA	
Nº da amostra	Valor

SABOR	
Nº da amostra	Valor

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ANEXO II

### TESTE DE PREFERÊNCIA

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Estamos fazendo uma pesquisa sobre preferência para goiabas desidratadas e secas.  
Por favor, prove cada uma das três amostras e indique sua preferência.

- Prefiro a amostra \_\_\_\_\_

Por favor, dê a razão de sua preferência:

---

---

---

- Frequência de consumo do produto objeto do teste: assinale uma das alternativas.

- 1- Como goiabas freqüentemente.
- 2- Como goiabas ocasionalmente.
- 3- Nunca como goiabas.

Comentários: \_\_\_\_\_

---

---

## TESTE DE ORDENAÇÃO

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo três diferentes amostras de goiaba desidratada. Avalie o AROMA de cada uma das amostras da esquerda para a direita, e ordene-as quanto ao grau de intensidade de acordo com os seguintes valores:

1 = Mais intenso      2 = mesma intensidade      3 = Menos intenso

Nº da amostra	Ordenação
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo três diferentes amostras de goiaba desidratada. Avalie a COR de cada uma das amostras da esquerda para a direita, e ordene-as quanto ao grau de intensidade de acordo com os seguintes valores:

1 = Mais intensa      2 = mesma intensidade      3 = Menos intensa

Nº da amostra	Ordenação
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo três diferentes amostras de goiaba desidratada. Avalie a DOÇURA de cada uma das amostras da esquerda para a direita, e ordene-as quanto ao grau de intensidade de acordo com os seguintes valores:

1 = Mais doce    2 = mesma doçura    3 = Menos doce

Nº da amostra	Ordenação
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo três diferentes amostras de goiaba desidratada. Avalie a TEXTURA de cada uma das amostras da esquerda para a direita, e ordene-as quanto ao grau de intensidade de acordo com os seguintes valores:

1 = Mais dura    2 = mesma dureza    3 = Menos dura

Nº da amostra	Ordenação
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_